HIPERBUSQUEDA EN LA RED • PREVENCION DE CATASTROFES VOLCANICAS

INVESTIGACION y CIENCIA

AGOSTO 1999
800 PTA. 4,81 EURO

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

Cirugía virtual

Los límites de la lógica

El mapa del universo

Armas biológicas de segunda generación



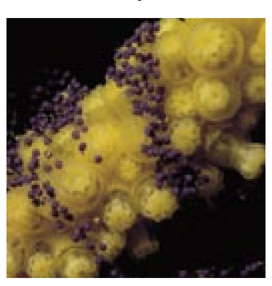


Agosto de 1999 Número 275

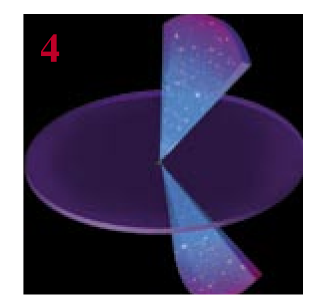
SECCIONES









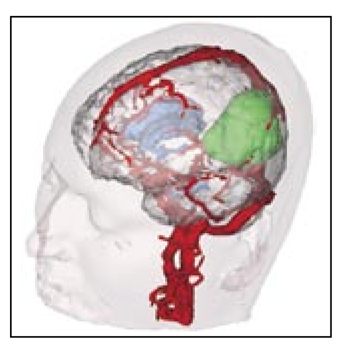






Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

SECCIONES



Portada: Imagen cortesía de Michael Leventon

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
4-5	Cortesía de Steve Maddox
6-7	Don Dixon
8	Observatorios Carnegie
9	Laurie Grace
10	Laurie Grace; fuente: Inspección de Corrimiento hacia el Rojo de Las Campanas
11	Laurie Grace (*izquierda*), Don Dixon (*derecha*); fuente: Inspección de Corrimiento hacia el Rojo de Las Campanas
13-17	Bryan Christie
20	Brucie Rosch
21	Laurie Grace (*esquema*)
23	Laurie Grace (*esquema*)
36	Michael Leventon, Laboratorio de Inteligencia Artificial, Instituto de Tecnología de Massachusetts
37	Sam Ogden
38-39	Michael Leventon
40	Michael Leventon (*arriba*), Arya Nabavi y Alexandra V. Chabrerie (*abajo*)
41-42	Michael Leventon
43	Najlah Feanny, *SABA*
45	Dick Swanson
46	Matt Collins
47	*Scientific American*
48	Holt Studios International (*izquierda*), Nigel Cattlin/HSI (*derecha*), Randall C. Rowe (*abajo*)
49	Steven R. King
50-51	M. C. Solana
52-53	Vicente Araña
54	R. Ortiz (*fotografía*), Vicente Araña (*esquema*)
55-56	Vicente Araña
57	H. Moreno (*arriba*), Vicente Araña (*abajo*)
59	Cortesía de los archivos del Instituto de Estudios Avanzados
60	Cortesía de John W. Dawson, Jr.
61	Cortesía de los archivos del Instituto de Estudios Avanzados
62	Bryan Christie
63	Cortesía de Richard Arens
64-70	Steve Winter (*fotografías*), Jenny Keller (*dibujos*)
72-75	Joachim Bretschneider
76-77	Joachim Bretschneider/Spektrum der Wissenschaft (*mapa*), J. Bretschneider (*fotografía derecha*), Bildarchiv Preussischer Kulturbesitz, Berlín (*fotografías en barra inferior*)
78-79	J. Bretschneider (*fotografía derecha*), Bildarchiv Preussischer Kulturbesitz, Berlín (*fotografías en barra inferior*)
80-82	Joachim Bretschneider
84-85	Daniels & Daniels
86-87	Bryan Christie
88	Dusan Petricic
96	George Retseck

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Juan Pedro Campos: *Cartografía del universo*; Luis Bou: *Búsqueda en la Red, El lenguaje XML, Gödel y los límites de la lógica* y *Juegos matemáticos*; Alfonso Susanna: *Guerra biológica contra los cultivos*; Joandomènec Ros: *En busca del murciélago fantasma*; Francesc Asensi: *El secreto de Nabada*; J. Vilardell: *Hace..., Taller y laboratorio* e *Ideas aplicadas*; Angel Garcimartín: *Perfiles*; José M.ª Valderas Martínez: *Nexos*

Ciencia y sociedad:

Juan Carlos Rodríguez Rubio: *Biología molecular*; Juan Pedro Campos: *Arqueología*

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
EDICIONES José María Valderas, *director*
ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (España)
Teléfono 93 414 33 44 Telefax 93 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Philip M. Yam, *News Editor*; Ricki L. Rusting, *Senior Associate Editor*; Timothy M. Beardsley y Gary Stix, *Associate Editors*; W. Wayt Gibbs, *Senior Writer*; Kristin Leutwyler, *On-Line Editor*; Mark Alpert, Carol Ezzell, Alden M. Hayashi, Madhusree Mukerjee, George Musser, Sasha Nemecek, Sarah Simpson y Glenn Zorpette, *Editors;* Graham P. Collins; Marguerite Holloway, Steve Mirsky y Paul Wallich, *Contributing Editors*
PRODUCTION William Sherman
CHAIRMAN Rolf Grisebach
PRESIDENT AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER Joachim P. Rosler

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono 93 414 33 44
Fax 93 414 54 13

Precios de suscripción:

	Un año	Dos años
España	8.800 pta.	16.000 pta.
	52,89 euro	96,16 euro
Extranjero	11.150 pta.	20.700 pta.
	67,01 euro	124,41 euro

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pta. 4,81 euro
Extraordinario: 1.000 pta. 6,01 euro

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA
Aragoneses, 18 (Pol. Ind. Alcobendas)
28108 Alcobendas (Madrid)
Tel. 91 484 39 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona
Teléfono 93 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, semisótano, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. 91 409 70 45 – Fax 91 409 70 46

Cataluña y Baleares:
Miguel Munill
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona
Tel. 93 321 21 14
Fax 93 414 54 13



ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocromos reproducidos por Dos Digital, Zamora, 46-48, 6ª planta, 3ª puerta - 08005 Barcelona
Imprime Rotocayfo, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

HACE...

...cincuenta años

EDUCANDO A LA PROLE. «Las influencias culturales comienzan a obrar sobre los niños desde el instante de nacer. Según las costumbres de su entorno social, puede que al niño se le deposite desnudo sobre un tablón de madera dura (en Nueva Caledonia), que se le introduzca en una cuna acolchada (entre los indios de las llanuras norteamericanas) o que se le vende ceñidamente del cuello para abajo (en Europa meridional). El alimento lo recibirá siempre que llore (en Malaya), a horas establecidas (en la América moderna) o cuando le plazca a su madre (en Nueva Guinea). Será objeto de los mimos de la familia (en Japón) o no se le prestará mayor atención que la mínima para asegurar su supervivencia (en Alor). Tan tempranas experiencias son importantes para sentar los cimientos del desarrollo de la personalidad.»

¿PIENSAN LOS MONOS? «Los psicólogos estudiosos de los procesos mentales superiores hablan de la existencia de un mecanismo organizativo o principio que explicaría el aprendizaje y el pensamiento: el conjunto de aprendizaje. De acuerdo con nuestros experimentos, las palabras serían estímulos o señales que inspirasen los conjuntos de aprendizaje más adecuados para resolver un problema dado. Aunque los monos no hablan, están capacitados para aprender que ciertos símbolos representan conjuntos de aprendizaje específicos. En un ensayo, a un mono se le entregó un triángulo sin pintar como señal para elegir todos los objetos rojos situados ante la jaula (*véase ilustración*), y un círculo sin pintar como señal para seleccionar todos los objetos azules. —Harry F. y Margaret Kuenne Harlow».



Mono aprendiendo a reconocer símbolos

...cien años

HELEN KELLER. «Miss Helen Kellar [sic], la joven con tan notorias aflicciones como talentos, acaba de culminar su preparación para la universidad. No es probable que ninguna persona se haya presentado hasta ahora a unos exámenes en tan extrañas condiciones. Es ciega, sorda y muda, por lo que un caballero del Instituto Perkins, que no la conocía con anterioridad, se hacía cargo de los documentos del examen a medida que eran presentados y los traducía a caracteres Braille. La joven aprobó los exámenes de todas las disciplinas y en griego avanzado recibió una nota muy alta.»

MUNICIÓN PROHIBIDA. «El Congreso de la Paz examinó con todo detalle la bala 'dum-dum' (de punta hueca) e Inglaterra se opuso a toda limitación en su uso entre las tribus salvajes. Hoy día todas las principales potencias están expuestas a entrar en guerra con razas más o menos salvajes, como es el caso cuando sus posesiones coloniales se ven amenazadas, por lo que muchas no quieren trabas contra el uso de esos proyectiles. El cartucho inglés 'Mark IV' lleva una carga de cordita; la bala tiene un hueco en la cabeza y la vaina de níquel acaba en una boca labiada. Ese proyectil, al entrar en contacto con el cuerpo humano, se abre adquiriendo una suerte de forma oblonga y redondeada.» [*Nota de la Redacción: Las Convenciones de La Haya de 1899 y 1907 prohibieron el uso bélico de esos proyectiles.*]

EL JARDINERO DE KARNAK. «En Tebas se ha descubierto la tumba de Nekht, jardinero principal adscrito al templo de Karnak, hacia el 1500 a.C. Un muro primorosamente pintado muestra la casa particular de Nekht, un edificio de barro y ladrillo, de dos pisos, con el exterior encalado y una gran puerta principal de madera. A la izquierda de la casa está el jardín, rodeado de árboles umbrosos y con un minúsculo canal que alimenta dos pequeños estanques en los que florecen nenúfares blancos y azules. Los árboles no eran palmeras datileras sino higueras de hojas anchas, bajo cuya sombra tupida, nos dice Nekht, 'se refrescaba durante el calor del verano y aspiraba el aire del fresco viento del norte'.»

...ciento cincuenta años

SERRERÍAS ANTICUADAS. «Una de las mayores curiosidades de Zelanda, la floreciente colonia de Holanda en el condado de Ottawa (Michigan), es el Molino de Viento, enorme, incómodo e inmanejable. Se trata de una monstruosa mole de madera en forma de torre octogonal. La máquina se mueve por la fuerza del viento incidente en cuatro listones cubiertos de lona. Encontrándome yo allí, estaban aserrando, o más bien intentándolo. A veces, con un viento favorable, las sierras trabajaban durante algunos minutos con gran viveza, para seguir con unas cuantas carreras más lentas y luego detenerse del todo, quizá durante media hora. Una persona emprendedora está ahora construyendo una serrería a vapor, que rendirá más.»

Cartografía del universo

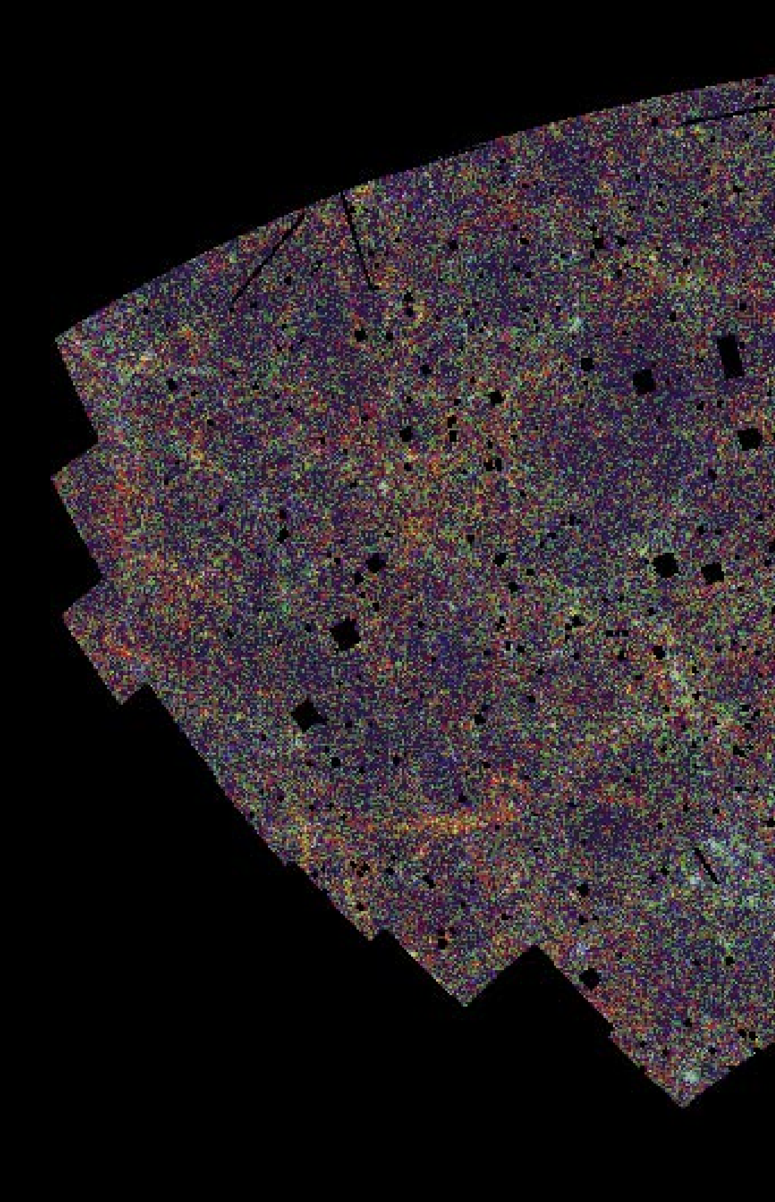
Mediante técnicas procedentes del análisis musical, los astrónomos estudian la formación de agrupamientos galácticos de tamaño creciente

Stephen D. Landy

Hasta para un astrónomo avezado, las galaxias resultan imponentes. Con una extensión de cientos de miles de años luz de un extremo a otro forman enjambres de cientos de miles de millones de estrellas hilvanadas por nubes gigantescas de gas y polvo. Para los cosmólogos, ocupados en el estudio de la naturaleza a escalas inmensas, una galaxia no es más que la unidad básica de la materia. Llenan el universo visible miles de millones de ellas. Se congregan en cúmulos de una envergadura de tres millones o más de años luz, que a su vez constituyen conjuntos cada vez mayores. En todas las escalas observadas hasta ahora se ha visto que las galaxias se agrupan y forman estructuras complejas; cabe suponer que sucede así en virtud de los procesos físicos que dominaban en los comienzos de la expansión del universo y, luego, en virtud de la acción de la gravedad.

Ahora bien, semejante fenómeno encierra una paradoja. La agrupación de galaxias atenta contra una de las premisas fundamentales de la cosmología moderna: el principio cosmológico. Afirma éste que el universo, entendido en su conjunto, es homogéneo e isótropo; o lo que es lo mismo, carece de lugares u orientaciones que se distingan de los demás. Cuando los cosmólogos estudian las propiedades globales del universo —densidad media, velocidad de expansión y morfología— se guían por ese principio. A cierta escala considerable, por ejemplo la total del cosmos observable, que tiene un radio de 15.000 millones de años, la distribución de esos puntos galácticos debería acercarse a la uniformidad. Pero, ¿cómo reconciliar la regularidad de la materia en la mayor de las escalas con su irregularidad en las demás?

Merced al avance de la técnica de los últimos años, astrónomos y cosmólogos han podido investigar la estructuración de las galaxias a grandes distancias. La idea un tanto simple de que el universo, alcanzada determinada escala, se torna uniforme va cediendo terreno a la opinión de que la macroestructura del universo sólo puede entenderse basándose en procesos aleatorios. No se niega que sea homogéneo e isótropo, pero tales atributos se interpretan ahora en un sutil sentido estadístico. Así se están desbrozando algunas de las cuestiones más espinosas de la cosmología: ¿cuál era la configuración del universo en el alba del tiempo? ¿Cómo creció y se desarrolló hasta convertirse en el que vivimos? ¿Qué formas de materia, corrientes y exóticas, contiene?

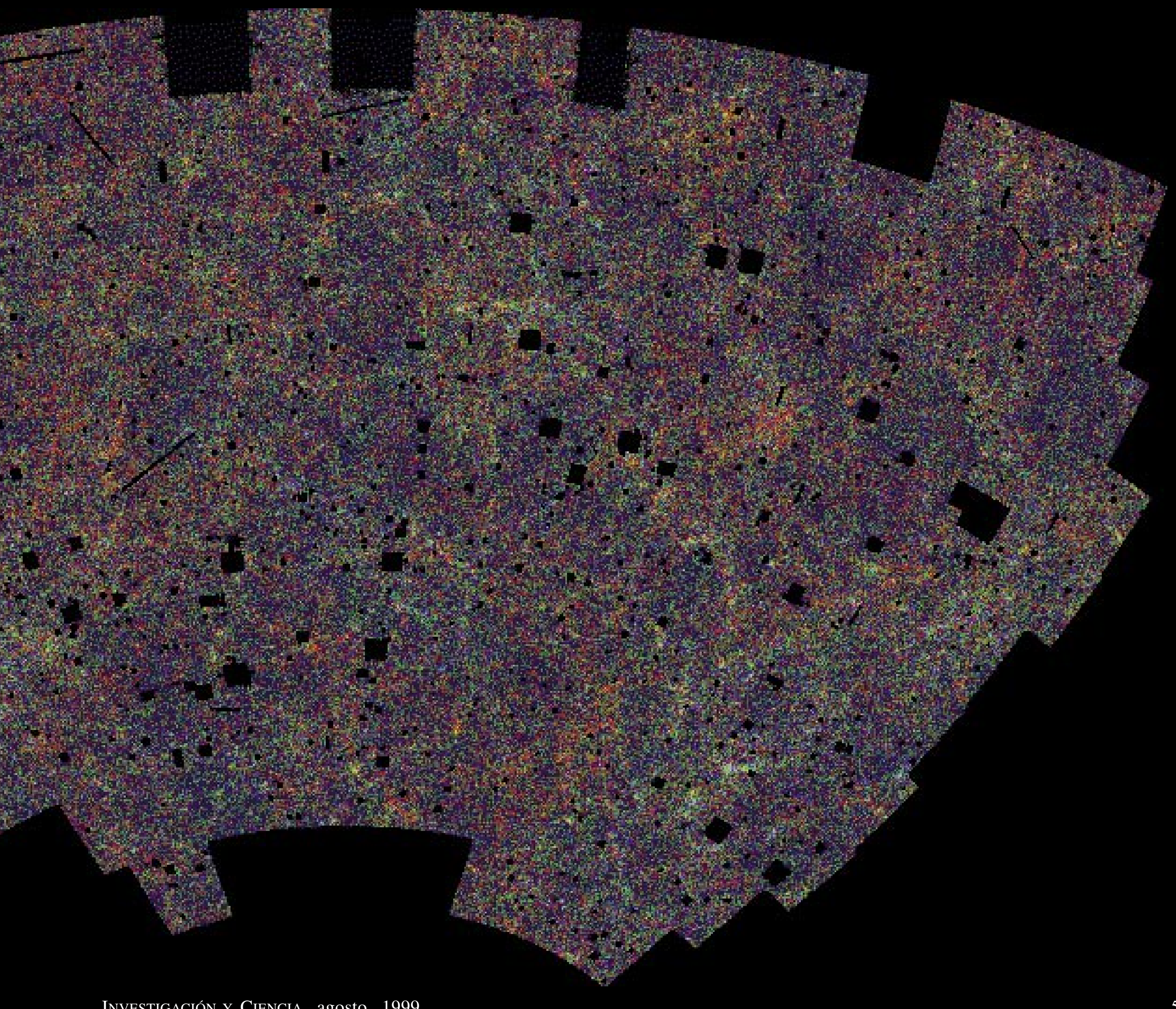


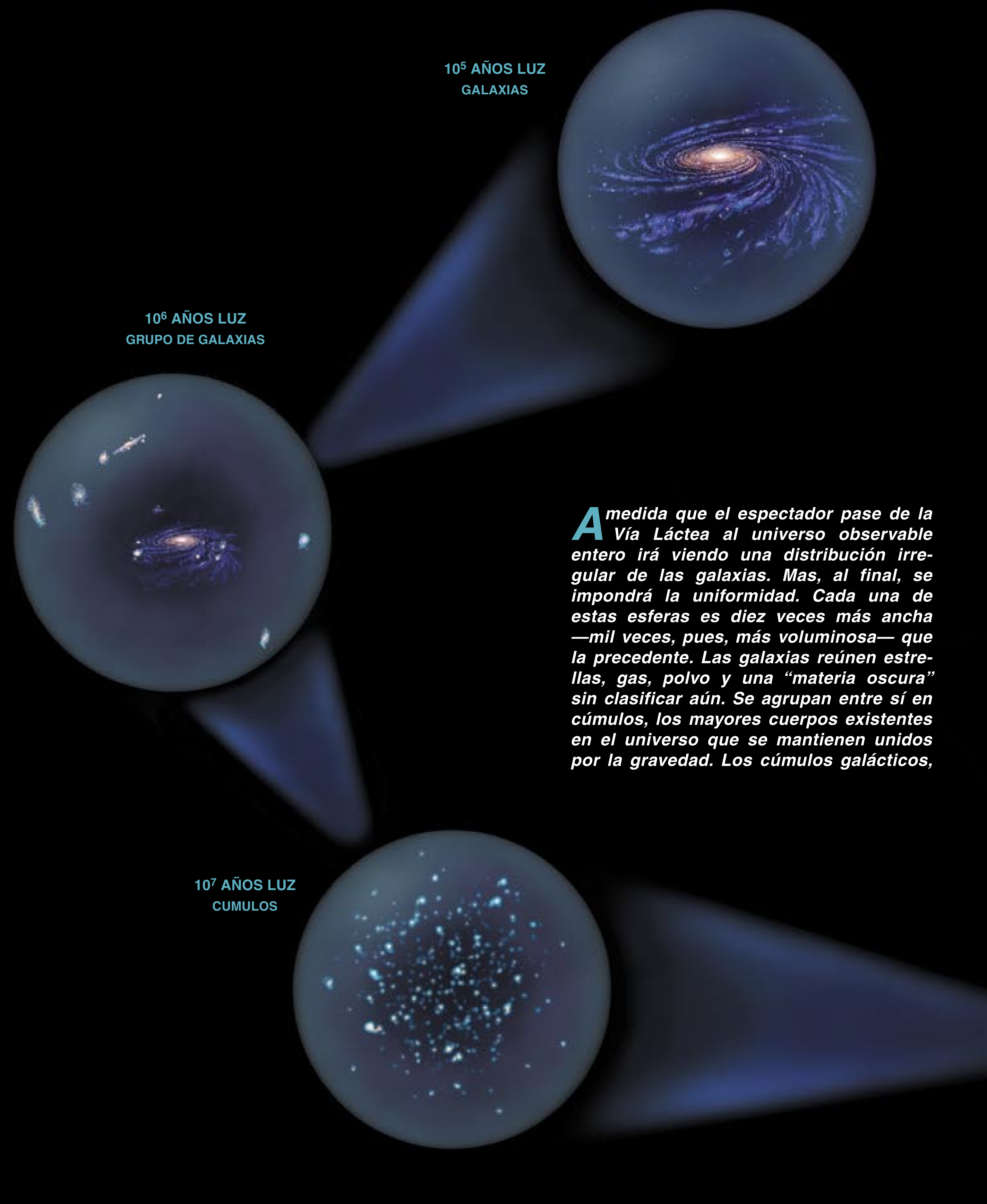
La investigación actual hereda veinte años de descubrimientos apasionantes. A finales de los años setenta y principios de los ochenta, los cosmólogos empezaron a cartografiar sistemáticamente las galaxias. Buscaban con ello medir la distribución de la materia, incluida la intergaláctica “materia oscura” que, a diferencia de las galaxias, no desprende luz. (El supuesto de que las galaxias luminosas informan de la masa total no es más que una aproximación, pero constructiva; se ha hecho otro esfuerzo por cuantificar el sesgo que se deriva de la aceptación de ese postulado.)

A escalas de hasta cien millones de años luz, las galaxias siguen una distribución fractal, de dimensión entre uno y dos. La disposición fractal de la materia constituiría un serio problema para el principio cosmológico si se extendiese a escalas mayores, porque una distribución fractal nunca es homogénea ni isótropa. Visto a cierta distancia, el fractal no se acerca a la homogeneidad; como la línea de la costa, parece irregular a cualquier escala. En un universo fractal de dimensión dos, la masa esperada encerrada en un volumen esférico centrado en una galaxia al azar crecería con el cuadrado del radio, no con el cubo. En un universo así, la densidad media sería una función de la escala; la velocidad de la expansión cósmica y otros parámetros universales perderían su significado. En pocas palabras: la fractalidad parecía arruinar la base de la cosmología moderna.

Pero la inspección astronómica ulterior reveló que, a escalas de cientos de millones de años luz, desaparecía la fractalidad. Para describir esa más amplia distribución podía apelarse a un proceso estadístico

1. TRES MILLONES DE GALAXIAS, cada una con miles de millones de estrellas, aparecen en este mapa del 15 por ciento del cielo, centrado en la constelación del Escultor. Aunque llenan el cielo de manera que, se mire en la dirección que se mire, su aspecto es más o menos igual, las galaxias tienden a agruparse en cúmulos, aglomeraciones y cadenas. El mapa, en el que el brillo de cada punto es proporcional al número de galaxias, fue compuesto a partir de fotografías en blanco y negro obtenidas por el Telescopio Schmidt del Reino Unido. En esta versión en color, los puntos azules, verdes y rojos representan galaxias de brillo intenso, medio y débil, respectivamente. Las áreas negras son alrededores de estrellas brillantes que el estudio no pudo sondear.





A medida que el espectador pase de la Vía Láctea al universo observable entero irá viendo una distribución irregular de las galaxias. Mas, al final, se impondrá la uniformidad. Cada una de estas esferas es diez veces más ancha —mil veces, pues, más voluminosa— que la precedente. Las galaxias reúnen estrellas, gas, polvo y una “materia oscura” sin clasificar aún. Se agrupan entre sí en cúmulos, los mayores cuerpos existentes en el universo que se mantienen unidos por la gravedad. Los cúmulos galácticos,

Estructuras a gran escala del universo

10^{10} AÑOS LUZ
EL UNIVERSO

a su vez, se congregan en supercúmulos y murallas, separados por vacíos en los que el espacio intergaláctico apenas si contiene materia. Al llegar a cierta escala, cifrada en torno a los cien millones de años luz, estas estructuras de tamaño creciente siguen un patrón fractal, es decir, se agrupan de una misma manera en todas las escalas. Pero entre esa escala y el tamaño del universo observable la irregularidad acabará por ceder paso a una uniformidad casi completa. —S.D.L.



10^{9} AÑOS LUZ
MURALLAS Y VACIOS



10^{8} AÑOS LUZ
SUPERCUMULOS





2. PARA ACELERAR la inspección astronómica de más de 26.000 galaxias, Stephen A. Shectman diseñó un instrumento que podía medir 112 galaxias a la vez. En una placa metálica perforó unos agujeros que correspondían a las posiciones celestes de las galaxias. Cables de fibra óptica llevaban la luz de cada galaxia a un canal distinto de un espectrógrafo en el telescopio Du Pont de 2,5 metros de los Observatorios Carnegie, en el chileno Cerro Las Campanas.

simple, con una media y una varianza bien definidas: un proceso con ruido. El principio cosmológico quedó a salvo. Pero avanzado el decenio de los ochenta surgieron nuevos problemas. Una inspección astronómica de elevada resolución detectó una "Gran Muralla" de galaxias de 750 millones de años luz de largo, más de 250 millones de años luz de ancho y más de 20 millones de años luz de grosor. Un proceso ruidoso no podía explicar semejante estructura, colosal y consistente. Estos descubrimientos instaron proyectos cartográficos de ambición mucho mayor, incluida la "Inspección astronómica Las Campanas sobre el corrimiento hacia el rojo", en el que trabajé con mis compañeros de 1988 a 1994.

Puesto que se pretendía medir la distribución de las galaxias a una escala varias veces mayor que la de inspecciones precedentes, hubo que hacer frente a varios problemas observacionales. De entrada, el brillo tenue de las galaxias remotas; para fotografiarlas se requería una exposición larga. Además, el gran volumen de espacio abarcado en la inspección aumentaba el número de objetos que había que observar. En suma, teníamos que observar más objetos con una exposición más larga, y sólo disponíamos del telescopio durante un tiempo limitado. Ante esas dificultades, decidimos concentrarnos en una zona muy profunda (hasta dos mil millones de años luz), ancha (85 grados a lo largo del cielo) y delgada (1,5 grados); era como si hubiésemos tomado una muestra bidimensional de la distribución de galaxias. La delgadez ponía en peligro la señal, pero brindaba un primer atisbo de la organización del cosmos a escalas de miles de millones de años luz.

Se cartografiaron seis franjas de universo. Se registraron las posiciones de más de 26.000 galaxias. Los datos se tomaron en los Observatorios Carnegie, en el Cerro Las Campanas, del desierto chileno de Atacama. Stephen A. Shectman, de los Observatorios Carnegie, Robert P. Kirshner y Huan Lin, del Centro Smithsoniano para la Astrofísica de Harvard, Augustus Oemler y Douglas L. Tucker, de la Universidad de Yale, Paul L. Schechter, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, y yo analizamos la información.

El trabajo de inspección astronómica atravesó varias etapas. Empezó con la realización de las observaciones fotométricas —fundamentalmente, unas fotografías muy sensibles del cielo— con una cámara de dispositivo acoplado a la carga (CCD), instalada en el telescopio Swope de un metro de Las Campanas. Para extraer el máximo rendimiento, recurrimos a la fotometría de barrido de deriva: se apunta el telescopio hacia donde comienza uno de los campos que se estudian y se desconecta el movimiento automático; queda entonces inmóvil y el espacio pasa ante él. Los ordenadores leen la información del detector CCD a la velocidad con que rota la Tierra; de esa forma se produce una sola imagen larga y continua, con una latitud cósmica constante. En completar la fotometría se tardó 450 horas.

Vino luego el análisis de las bandas obtenidas para determinar las galaxias probables, a incluir en la inspección. Nos guiamos de acuerdo con el doble criterio de brillo y borrosidad característica. Las observamos, por último, con un espectrógrafo del telescopio Du Pont de 2,5 metros, en Las Campanas, que descomponía la luz en un espectro de colores, a partir del cual calculábamos el corrimiento al rojo de cada galaxia, una forma de saber a qué distancia están.

Reunir, en esa inspección, luz bastante para medir el espectro de una galaxia exige un par de horas. Si nos hubiésemos limitado a una por vez, hubiera sido imposible un estudio de esta magnitud. Pero Shectman diseñó un sistema múltiple de fibra óptica que medía el espectro de 112 galaxias de consuno. El sistema operaba como sigue: escogidas las galaxias probables, agujereábamos la placa metálica que se instalaba en el foco del telescopio. Los agujeros correspondían a sus posiciones en el cielo y los atravesaban cables de fibra óptica, que portaban la luz procedente de cada galaxia a un canal distinto del espectrógrafo. Pese a este procesamiento en paralelo, consumimos 600 horas de tiempo de observación (cien noches) en medir todos los espectros.

Basta fijar los ojos en los mapas de la inspección para darse cuenta de que las galaxias no se distribuyen al azar. Antes bien, tienden a agruparse. Pero hay que andar con tiento con las impresiones visuales. El cerebro acostumbra buscar regularidades donde no las hay. Pero no nos engaña en este caso; la estadística respalda la realidad de los agrupamientos.

Para medir un agrupamiento nada mejor que servirse de funciones de correlación; éstas representan el número de pares de objetos en función de la distancia que los separe. Por ejemplo, la distribución de los venados de un bosque tiende a formar acumulaciones de microescala, de unas decenas de metros para entendernos. Quien cazase al azar un ciervo en el bosque se percataría de que es mucho más probable encontrar otro a unos metros que a unos cientos de metros. La función de correlación daría una clara señal positiva en la escala de decenas de metros y una débil o negativa en la de los cientos de metros. Esa sería la descripción matemática de un fenómeno de la naturaleza harto conocido, el del desplazamiento de los venados en grupos pequeños.

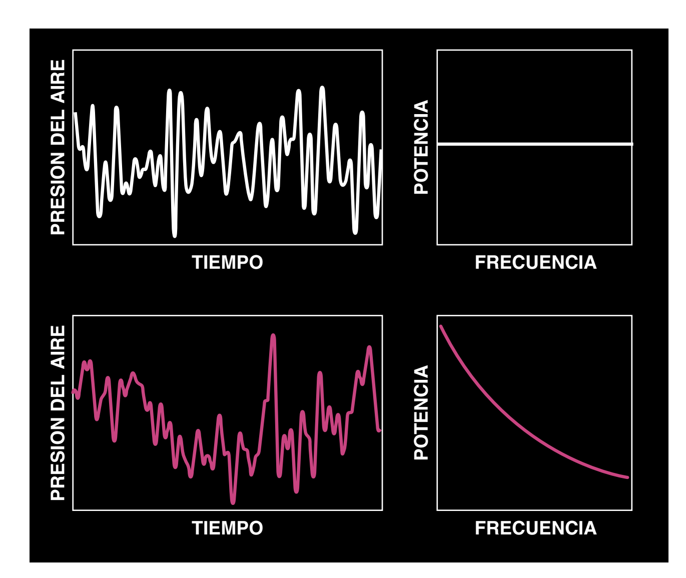
STEPHEN D. LANDY se interesó por la cosmología una noche que se perdió en el bosque y se distrajo contemplando las estrellas. Tras doctorarse en la Universidad Johns Hopkins, pasó luego por los Observatorios Carnegie de Pasadena y la Universidad de California en Berkeley.

Podemos aplicar a las galaxias un análisis similar. Método que funciona bien a escalas mucho menores que el tamaño de la inspección astronómica. A grandes escalas, sin embargo, no sirve para mucho. Lo que ocurre es que el número de galaxias —y por tanto el número de pares de galaxias— viene dado de antemano. Si hay una cantidad excesiva de pares con separaciones pequeñas, existirá un déficit de distancias grandes, pues el número total de pares es fijo. Este juego de suma cero contamina la señal de agrupamiento a grandes escalas.

Para nuestra fortuna disponemos de una técnica complementaria que puede medir fiablemente el agrupamiento a escalas grandes. Pensamos en el análisis armónico, llamado también análisis por distribución espectral de potencia. El análisis armónico, como sugiere su nombre, guarda una relación estrecha con el estudio del sonido. En realidad, el análisis matemático de la distribución de galaxias y el del ruido aleatorio son idénticos. (El espectro de potencia, aunque mantiene un parentesco conceptual con el que los astrónomos suelen usar, el luminoso, difiere en su naturaleza física.)

Las ondas de la superficie del agua, las fluctuaciones de la presión del aire en una habitación y otros fenómenos corrientes se describen de una forma más natural por medio de sus espectros de potencia. El oído humano realiza un análisis similar de las fluctuaciones de presión, es decir, del sonido. Cabe ver una fluctuación como una colección de notas puras, cada una de cierta intensidad. La cóclea descompone en el oído las fluctuaciones de las notas (frecuencias) que las constituyen. La señal enviada al cerebro describe la intensidad (o amplitud) de cada nota.

El espectro de potencia mide la intensidad de las fluctuaciones de la presión en función de la frecuencia. Es lo que muestra el ecualizador gráfico de un equipo de sonido. Los instrumentos musicales grandes, el contrabajo, la tuba, colocan una gran parte de su potencia en las longitudes de onda largas, correspondientes a frecuencias bajas. El sonido de un cristal que se rompe consta de frecuencias altas.



3. LOS RUIDOS BLANCOS Y ROSAS nos rodean. El ruido blanco, el chisporroteo que se oye en una radio o una televisión mal sintonizadas, es aleatorio. El sonido fluctúa de un instante al siguiente sin patrón alguno (*arriba*). El ruido rosa, el sonido de una cascada o de las olas en la playa, es fractal (*abajo*). La diferencia se refleja en los espectros de potencia (*gráficos a la derecha*): el ruido blanco tiene la misma potencia en todas las frecuencias, mientras que el rosa reparte más potencia en los bajos que en los agudos, en proporción inversa a la frecuencia.

El ruido aleatorio es especial; admite una plena descripción mediante su espectro de potencia. Imagínense dos personas que acuden a una cascada con unos minutos de diferencia. Ambas graban varios minutos de sonido. Aunque sus grabaciones no serán iguales —el sonido de la caída de agua cambia sin cesar—, no por ello dejarán de registrar el murmullo típico de un salto de agua. Si los observadores realizasen una análisis armónico de sus grabaciones obtendrían el mismo espectro de potencia. Las propiedades estadísticas de las dos grabaciones serían idénticas.

Al ruido que tiene un espectro de potencia plano, es decir, que reparte la misma potencia en cada frecuencia, se le llama blanco. La denominación remite a su analogía con el color. Cada color tiene una frecuencia diferente; si se mezclan todos los colores por igual saldrá el blanco. Volviendo al sonido, se llama blanco al ruido que se oye entre emisora y emisora. Es un sonido perfectamente aleatorio; en ningún instante guarda relación alguna —no está correlacionado— con el que vino antes. Otro espectro de potencia especial es el ruido rosa, en el que cada octava emite la misma potencia. Las cascadas producen ruido rosa.

El análisis armónico nos permite reconciliar el principio cosmológico con la tendencia de la materia a agruparse. En un universo homogéneo e isótropo, los observadores que vivieran en planetas de galaxias distintas medirían, a sus mayores escalas, las mismas propiedades. Verían, por supuesto, diferentes distribuciones de galaxias, a la manera en que divergirían entre sí dos sectores de universo de la inspección de Las Campanas. Mas tras varias inspecciones, o una sola de magnitud suficiente, ambos observadores medirían las mismas fluctuaciones estadísticas. Igual que las del sonido de una cascada, las fluctuaciones podrían describirse mediante el espectro de potencia.

Conforme siguen su curso la expansión y evolución del universo, varios procesos físicos modifican el espectro de potencia de la estructura a gran escala. Los cosmólogos sospechan que, al poco de la gran explosión, ciertas fluctuaciones mecanocuánticas crearon el espectro de potencia inicial. A finales de los años sesenta, Edward R. Harrison, físico inglés, y Yakob B. Zel'dovich, ruso, dedujeron la configuración de ese espectro de potencia primigenio. Se trata de una ley exponencial, cuya forma funcional se expresa en la razón de frecuencia al inverso del cubo de la potencia; por tanto, un espectro tridimensional de ruido rosa.

Harrison y Zel'dovich razonaron que la mayoría de las fuerzas naturales, gravedad incluida, carecían de una escala de longitud intrínseca; eran leyes exponenciales. En consecuencia, el espectro de potencia inicial tenía que ser una ley exponencial en la frecuencia; no se singularizaría, pues, ninguna escala de longitud determinada. Barruntaron también el papel del tamaño del horizonte en la evolución del universo. Por tamaño del horizonte se entiende la distancia recorrida en el universo por un rayo de luz desde la gran explosión hasta el momento considerado. Puesto que la influencia de la gravedad se propaga a la velocidad de la luz, dos puntos del universo pueden interaccionar gravitatoriamente sólo si

les separa una distancia menor o igual al tamaño del horizonte. Conforme el universo envejece, aumenta el tamaño del horizonte. Tamaño que define, por tanto, una escala de longitud natural en referencia a la cual puede operar la gravedad.

Harrison y Zel'dovich percibieron que, si el espectro de ley exponencial de partida no hubiese sido exactamente el inverso del cubo de la frecuencia, sólo habría podido ocurrir dos cosas. En el caso de una ley exponencial más drástica —el inverso de la cuarta potencia, por ejemplo—, las fluctuaciones a escalas muy pequeñas habrían sido mayores. Al calcular las fluctuaciones de la densidad en los primeros tiempos del universo, cuando el tamaño del horizonte era limitado, hallaron que muchas regiones habrían adquirido tal densidad de materia, que tendrían que haber caído desplomadas sobre sí mismas enseguida, sembrando el universo de agujeros negros. Por suerte, no fue así. Nuestra mera existencia descarta un espectro de potencia de ese estilo. En el otro extremo, si la ley exponencial hubiese sido más llana, la densidad habría sufrido luego, a grandes escalas, fluctuaciones ingentes; esa clase de fluctuaciones no existe.

Aunque el razonamiento convence a los cosmólogos, no explica por qué se produjo ese espectro concreto. La inflación cosmológica ofrece una explicación; fue uno de los éxitos que tuvo en sus comienzos y una de sus pocas consecuencias contrastables.

El espectro de potencia del universo difiere hoy bastante del espectro de Harrison-Zel'dovich primigenio. La gravedad ha ampliado las fluctuaciones iniciales y hecho que nazcan macroestructuras, como los cúmulos de galaxias. Antaño, se intensificaba o demoraba el crecimiento de las fluctuaciones a escalas concretas según la materia o la radiación dominasen el universo y según las partículas elementales fuesen ligeras y veloces o pesadas y lentas. Los cosmólogos tienen ante sí el reto de determinar cómo evolucionó el espectro de potencia inicial hasta convertirse en el que observamos hoy. A partir de la distribución de galaxias y de la radiación del fondo cósmico de microondas se ha empezado a recoger datos suficientes con los que refrendar las teorías.

Los modelos de materia oscura fría aportan la explicación más difundida y aceptada del nacimiento de las estructuras. Se parte de la premisa según la cual la mayor cantidad de la materia del universo corresponde a un tipo de partícula bastante pesada y oculta a la vista. Es "fría" porque, debido a su masa, se mueve despacio. La partícula, que interaccionaría con la materia corriente sólo por medio de la fuerza de la gravedad, podría dar cuenta, además, de la masa que falta en las galaxias y cúmulos galácticos.

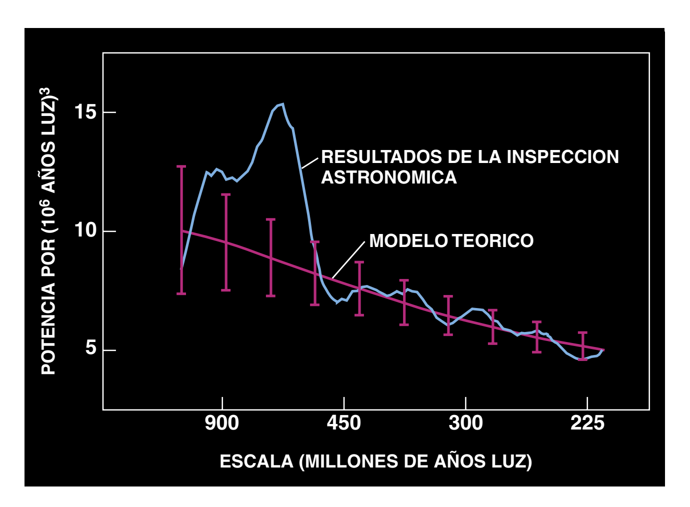
Nuestra inspección astronómica se desviaba del modelo de la materia oscura fría a escalas de alrededor de 600 millones de años luz. Un resultado sorprendente. A escalas menores, las predicciones del modelo concordaban con nuestros hallazgos. Había algo extraño tras las escalas grandes. Los trabajos de inspección anteriores habían ya insinuado la existencia de esa discrepancia. Al estudio de Las Campanas le ha correspondido validarlo. A partir de la magnitud de la desviación y del tamaño abarcado en el estudio hemos calculado que la probabilidad de que se deba al mero azar es de uno en varios miles.

La desviación puede, y ello reviste sumo interés, remontarse hasta las macroestructuras observadas en la distribución de galaxias. Esas estructuras están definidas en los mapas galácticos por fronteras tajantes, filamentos y vacíos. Las mayores abrazan unos tres mil millones de años luz, varias veces el tamaño de la Gran Muralla. La asociación de estas murallas y vacíos con la desviación en el espectro de potencia constituye un descubrimiento clave en el trabajo de inspección de Las Campanas. Quiere ello decir que, a esta escala, la distribución de galaxias no puede quedar bien especificada mediante las matemáticas del ruido aleatorio. Otros procesos físicos tienen que haber impreso esa escala característica en las fluctuaciones de densidad.

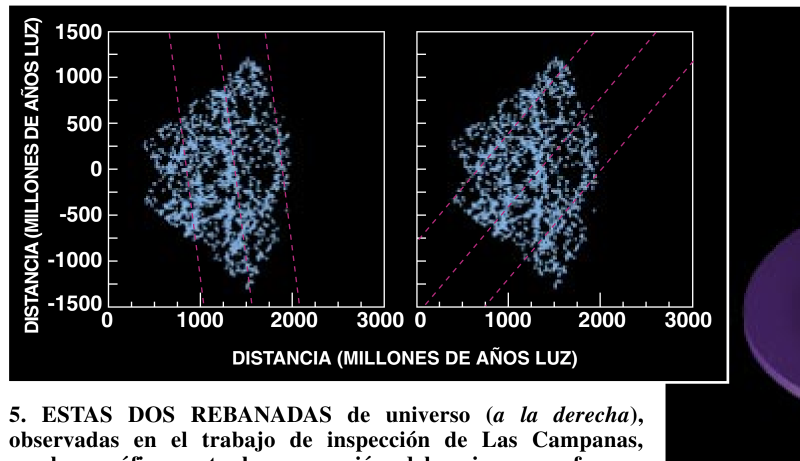
Esa incompatibilidad es la que, en realidad, posibilita que podamos denominar estructuras a las paredes y los vacíos, sin menoscabo de exactitud. Con un proceso ruidoso puro aparecerían de vez en cuando, por azar, murallas y vacíos, pero serían harto menos frecuentes, en coherencia con la estadística del ruido. No serían estructuras genuinas, sino fluctuaciones estadísticas o superposiciones aleatorias.

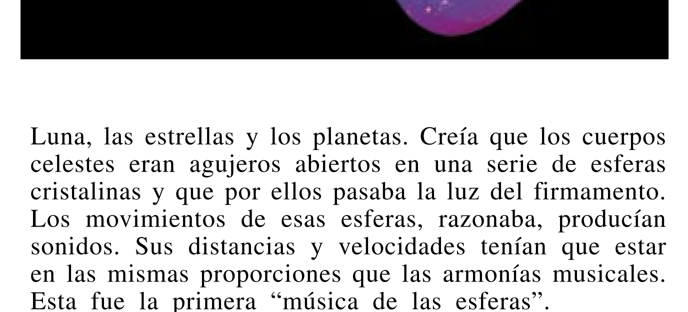
¿Qué originaría las murallas y los vacíos inmensos? Podría apostarse por la gravedad, si no fuera porque hace que las fluctuaciones de una escala menor desaparezcan más deprisa; en escalas menores la gravedad congrega antes la materia involucrada. Si la gravedad fuera la causa, el agrupamiento de las galaxias debería haber comenzado a escalas pequeñas y haberse generalizado a otras mayores. A lo largo de los últimos veinte años se ha privilegiado este proceder de abajo arriba, o agrupamiento jerárquico, para justificar la estructuración a escalas menores de unos 150 millones de años luz. Pero las desviaciones encontradas en nuestro estudio empiezan a aparecer a escalas mucho mayores. El agrupamiento jerárquico seguiría valiendo en las pequeñas, pero no puede explicar las murallas y vacíos de las mayores.

Se han presentado varias hipótesis. Ninguna de ellas encaja con los diversos tipos de datos disponibles. Se defiende, por ejemplo, el predominio de la materia oscura caliente, en cuyo marco el universo estaría dominado por partículas ligeras y veloces, como los neutrinos. Si así fuese, la formación de estructuras progresaría de arriba



4. LOS ESPECTROS DE POTENCIA del cosmos, medidos en el trabajo de inspección astronómica de Las Campanas (*línea azul*), siguen la predicción del modelo de la materia oscura fría (*rosa*). Pero la potencia aumenta drásticamente en las escalas de 600 millones a 900 millones de años luz. Esta discrepancia significa que el universo se muestra más propenso a las agrupaciones en esas escalas de lo que pueden explicar las teorías actuales.





5. ESTAS DOS REBANADAS de universo (*a la derecha*), observadas en el trabajo de inspección de Las Campanas, revelan gráficamente la propensión del universo a formar agrupaciones a gran escala. Los puntos, que representan los varios miles de galaxias que cada loncha contiene, no se diseminan uniformemente, sino que se aglomeran y levantan muros (*las líneas de rayas en los recuadros*), distantes entre sí unos 600 millones de años luz.

abajo, empezando por las escalas grandes. Por desgracia, esta teoría comporta, a modo de efecto colateral, la erradicación de estructuras en las escalas pequeñas; no explica el agrupamiento galáctico de pequeña escala.

Una segunda hipótesis propone que el universo es menos denso de lo que suponen los cosmólogos. La disminución sería a costa, en buena medida, de la materia oscura exótica. Las partículas corrientes —protones o electrones— tendrían entonces una influencia proporcionalmente mayor. En el universo primitivo habrían constituido un fluido viscoso. Antes de que el universo se hubiese enfriado lo bastante para que los protones y los neutrones se combinasen y formaran átomos, reverberarían a través de ese fluido ondas sonoras. Cuando protones y electrones se recombinaran, las ondas sonoras promoverían, en ciertas escalas, el desplome gravitatorio. No deja de llamar la atención el que un universo menos denso resuelva también otros rompecabezas cosmológicos.

Una tercera hipótesis señala que 600 millones de años luz vienen a ser la distancia del horizonte existente cuando la densidad media de la materia superó a la de la radiación, en el universo. Un cambio tan profundo debió de afectar al espectro de potencia. Sea cual sea la explicación final, quizá los astrónomos estén detectando la mayor escala de longitud singular asociada a un proceso físico.

Hasta una inspección astronómica de las proporciones del estudio de Las Campanas contiene sólo unas 50 mediciones independientes del espectro de potencia a esas grandes escalas. Se requieren inspecciones mayores; en estos momentos hay varios en preparación o en marcha. Un consorcio angloaustraliano, la inspección astronómica 2DF, está cartografiando más de un cuarto de millón de galaxias. Muy pronto, la Inspección Astronómica Digital Americano-Japonesa Sloan comenzará a medir las distancias que se hallan a casi un millón de galaxias que abarcan más de la mitad del cielo; su muestra multiplicará por 20 el volumen abordado por la inspección realizada en Las Campanas.

No son los primeros en utilizar el análisis armónico en la historia de la astronomía. Pitágoras, en el siglo VI a. C., aplicó el análisis musical al movimiento del Sol, la Luna, las estrellas y los planetas. Creía que los cuerpos celestes eran agujeros abiertos en una serie de esferas cristalinas y que por ellos pasaba la luz del firmamento. Los movimientos de esas esferas, razonaba, producían sonidos. Sus distancias y velocidades tenían que estar en las mismas proporciones que las armonías musicales. Esta fue la primera "música de las esferas".

En el siglo XVII Johannes Kepler creía, antes de formular sus famosas leyes del movimiento celeste, que las órbitas de los planetas se podían describir por medio de unas esferas celestes inscritas en los cinco sólidos perfectos pitagóricos. Defendía que las armoniosas proporciones musicales podían derivarse de esos sólidos; en su opinión, había una relación fundamental entre los planetas y esas armonías. Esta fue la segunda música de las esferas.

Nuestro análisis armónico de hoy es muy diferente. Se basa en analizar los componentes armónicos de distribuciones aleatorias; el sonido se parece más al ruido de una cascada que al de los instrumentos divinos. Puede que esta manera moderna de hacer las cosas no parezca tan gratificante ni tan sublime como las del pasado, pero gracias al matrimonio del universo isótropo y el conocimiento de los campos aleatorios oímos de nuevo la música de las esferas.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE LAS CAMPANAS REDSHIFT SURVEY. Stephen A. Shectman *et al.* en *Astrophysical Journal*, vol. 470, págs. 172-188; 10 de octubre, 1996. Preprint disponible en xxx.lanl. gov/abs/astro-ph/9604167 en la World Wide Web.

THE LARGE-SCALE SMOOTHNESS OF THE UNIVERSE. Kelvin K. S. Wu, Ofer Lahav y Martin J. Rees en *Nature*, vol. 397, págs. 225-230; 21 de enero, 1999.

Se puede acceder al sitio del Estudio celeste del desplazamiento al rojo de Las Campanas en la World Wide Web en manaslu.astro.utoronto.ca/~lin/lcrs.html.

Se puede acceder al sitio de la Inspección Astronómica Digital Sloan en la World Wide Web en www.sdss.org.

Búsqueda en la Red

La velocidad con que aumenta el caudal de información en el ciberespacio es vertiginosa y, apremiante, la necesidad de buscadores más eficaces. La solución podría estar en una técnica nueva de concatenación

Miembros del Proyecto *Clever*

Todos los días, un millón de páginas electrónicas vienen a sumarse a los cientos de millones ya existentes en la WWW (la Telaraña o Malla Máxima Mundial). Este abrumador volumen de información es mantenido más o menos laxamente de una pieza gracias a más de mil millones de conexiones, por lo general comentadas, conocidas por vínculos. Por primera vez en la historia, millones de personas pueden tener acceso casi instantáneo desde sus hogares u oficinas a los productos de creación de una fracción importante —y creciente— de la población del planeta.

Mas, por culpa de ese rápido y caótico crecimiento de la Telaraña, la información resultante carece de organización y estructura. De hecho, la Red, en su evolución, se ha convertido en una inmensa maraña de proporciones no imaginadas. Sus páginas aparecen en cualquier idioma, dialecto o estilo, escritas por personas de cualquier origen, educación, cultura, interés o motivación. La extensión de sus páginas puede ir desde unos pocos caracteres hasta centenares de miles; en ellas hallan cobijo verdades, falsedades, sabiduría, propaganda o puras tonterías. ¿Cómo extraer de esta maraña digital las páginas pertinentes a la información deseada?

En el pasado se utilizaban buscadores que iban a la captura de palabras o términos. Pero en tales búsquedas textuales no es raro recuperar decenas de millares de páginas y muchas de ellas nada tienen que ver con lo que nos interesa. ¿Cómo localizar rápida y exclusivamente la información que necesitamos, confiando en que sea auténtica y fiable?

Los autores han desarrollado un ingenio de búsqueda de nuevo cuño, que saca partido de un recurso valioso de la Telaraña, la miríada de sus vínculos. Por análisis de estas interconexiones, nuestro sistema localiza automáticamente dos tipos de páginas, aquí llamadas autoridades y ganglios. Son autoridades las sedes de información tenidas por mejores acerca de un tema determinado; los ganglios constituyen colecciones de enlaces a las sedes anteriores. A través de nuestro método, los usuarios tendrían que poder localizar pronta y eficientemente la información que desean.

Los discos de los ordenadores, cada vez más económicos, permiten almacenar una gran porción de la Telaraña en una sola sede. En su nivel más básico, un buscador mantiene, para cada palabra, una lista de todas las páginas de la Telaraña de las que es sabido que contienen el término. Esas recopilaciones se llaman índices. Quienes estén interesados por la acupuntura pueden acceder a la lista "acupuntura" para encontrar todas las páginas de la Telaraña donde se incluye esa palabra.

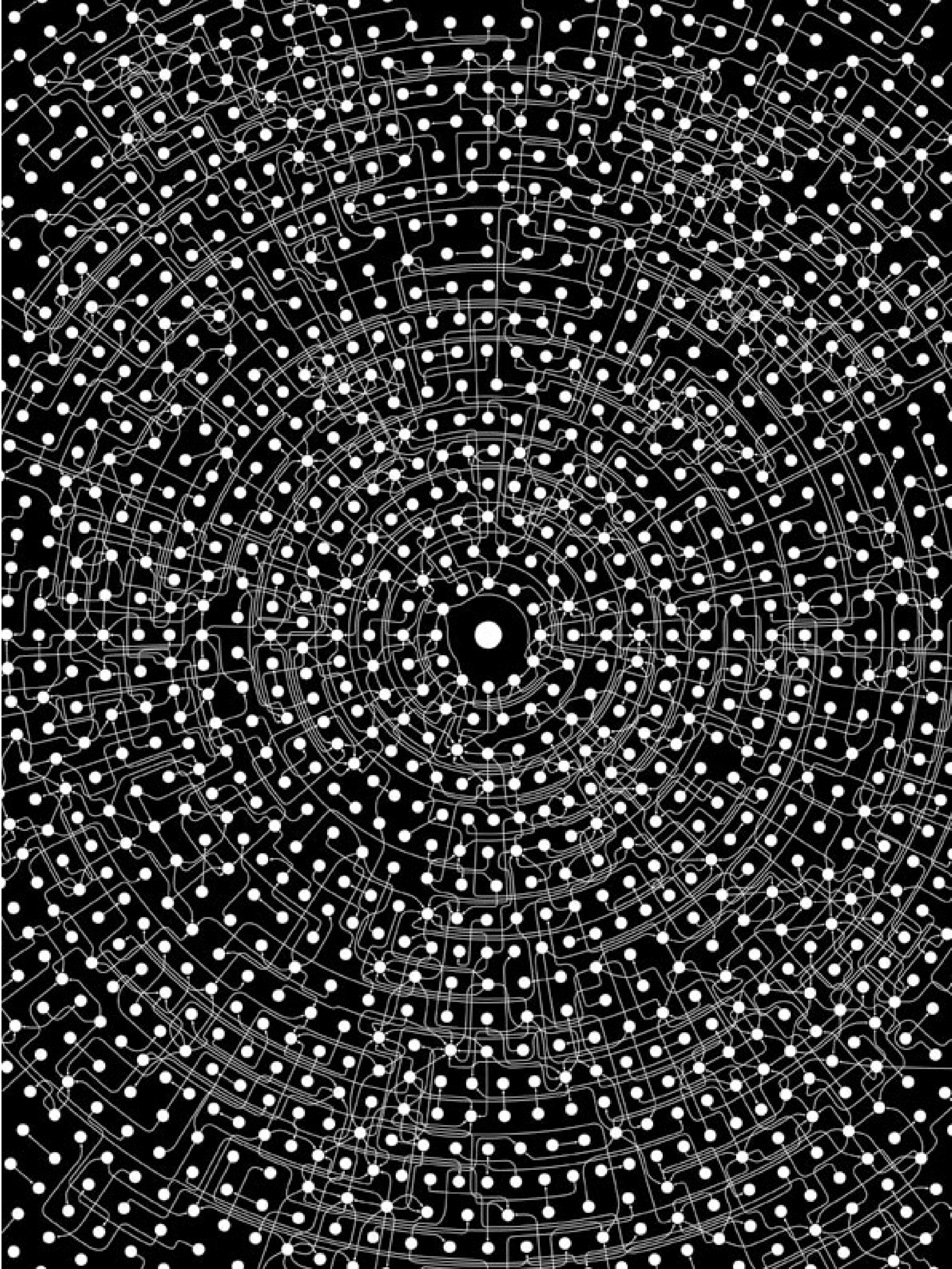
La tarea de confección y mantenimiento de estos índices es un auténtico problema; y una tarea formidable, la determinación de la información que se ha de entregar en la respuesta a las peticiones del usuario. Tomemos una petición inequívoca de información. Por ejemplo, sobre la compañía aérea "Nepal Airways". De las aproximadamente 100 páginas de la Telaraña que (al escribir este artículo) contienen esa frase, ¿cómo decide el programa de exploración cuáles son las 20 mejores? Una de las dificultades es que no existe una medida exacta y matemáticamente precisa de "mejor"; tal valoración es subjetiva.

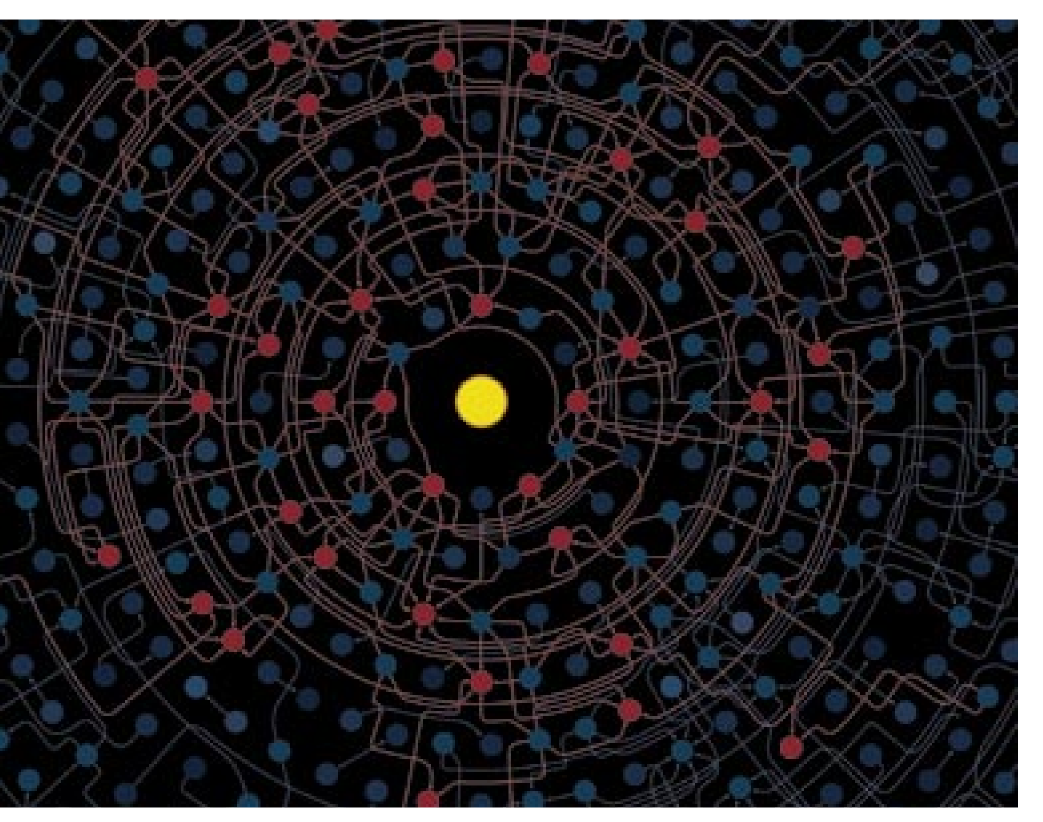
Los buscadores disponibles en AltaVista, Infoseek, HotBot, Lycos y Excite recurren a reglas heurísticas para determinar el criterio de ordenación de las páginas (y, por tanto, su orden de presentación). Estas reglas empíricas constituyen, consideradas en su conjunto, la función de gradación; ésta ha de ser válida lo mismo para peticiones específicas y sencillas ("Nepal Airways") que para peticiones generales, como "aircraft" (avión), palabra que aparece en más de un millón de páginas. ¿Con qué criterios podría un buscador seleccionar sólo 20 entre tamaña cifra?

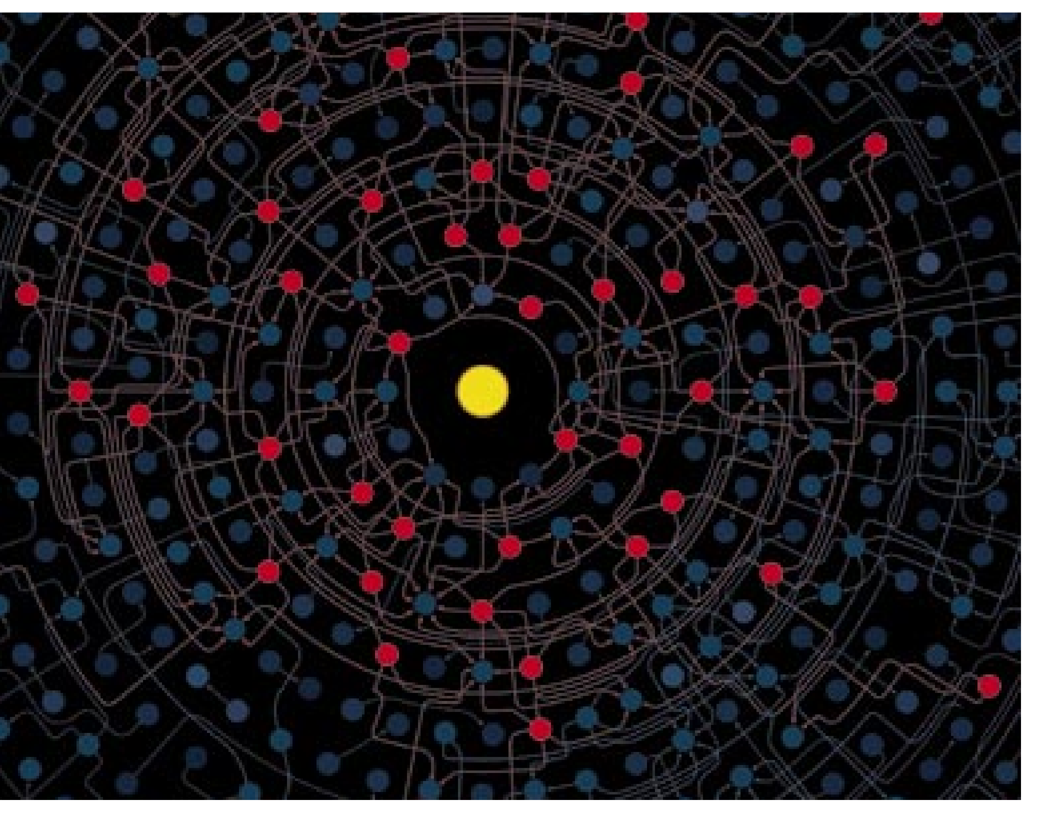
Una regla heurística sencilla podría graduar las páginas atendiendo al número de veces que en ellas aparece el término indicado; también podría tener en cuenta el tiempo que tarda en aparecer el texto. Pero tales métodos pueden fracasar. Si el libro de Tom Wolfe *The Kandy-Kolored Tangerine-Flake Streamline Baby* se escalonara en virtud de estas reglas empíricas, ocuparía el rango de "muy relevante" para la petición "hernia", pues empieza repitiendo esa palabra docenas de veces. Son numerosas las generalizaciones de tales reglas empíricas; entre ellas, las que conceden mayor peso a las palabras que aparecen en títulos, en epígrafes o en tipografías de cuerpo grande.

Estas estrategias de calificación son sistemáticamente burladas por muchas sedes comerciales de la Red, que diseñan sus páginas con la intención deliberada de lograr gradaciones ventajosas. Nos encontramos así con

1. LAS PAGINAS de la Telaraña (*lunares blancos*) están esparcidas sin apenas estructura por Internet. A una persona situada en el centro de esta maraña electrónica le resulta difícil encontrar sólo la información deseada. El diagrama representa apenas algunos cientos de páginas, siendo así que la Malla Máxima Mundial contiene más de 300 millones. Sin embargo, un análisis de las formas en que ciertas páginas se concatenan con otras puede revelar un orden oculto.







2. AUTORIDADES Y GANGLIOS contribuyen a organizar la información en la Telaraña, por informal e inadvertidamente que lo hagan. Las autoridades (●) son sedes hacia las que suelen apuntar otras páginas de la Telaraña que tratan de un tema particular. En el caso de los derechos humanos, por ejemplo, la página de portada de Amnistía Internacional podría ser una sede de ese tipo. Los ganglios (●) son sedes que tienden a citar muchas de tales autoridades, ya sea en una lista de recursos o en una sección como "Mis enlaces favoritos" en una página personal.

páginas cuyos títulos son "vuelos baratos vuelos baratos vuelos baratos...". Ciertos sitios repiten muchas veces otras frases cuidadosamente elegidas utilizando fuentes tipográficas y colores invisibles para los humanos. Esta técnica de lanzamiento de basura (*spamming*) ha llegado a ser una de las principales razones de que en la actualidad resulte tan difícil el mantenimiento de buscadores eficaces.

Aun cuando dejemos de lado el lanzamiento de basura, resultan dudosos los supuestos en que se basan las búsquedas de texto habituales. Para empezar, las páginas pertinentes no siempre portan el término solicitado, mientras que otras que sí lo contienen carecen de interés. Una de las principales causas de este problema es que el lenguaje humano, en toda su riqueza, está inundado de sinonimia (de palabras distintas que tienen el mismo significado) y de polisemia (palabras que tienen significados múltiples). Por la primera de estas razones, una búsqueda centrada en "automóvil" prescindirá de un aluvión de páginas que no contienen esa palabra, pero sí "coche". Esta última se manifiesta en una petición simple de "jaguar", que nos devolverá miles de páginas sobre un automóvil, un felino salvaje y un equipo de la liga de fútbol americano, entre otros temas.

Para aliviar el problema se suele enriquecer las técnicas de búsqueda con información previamente almacenada sobre relaciones semánticas entre palabras. Tales compilaciones, construidas por equipos de lingüistas, se denominan redes semánticas, siguiendo el trabajo seminal realizado en el proyecto WordNet por George A. Miller y sus colegas de la Universidad de Princeton. Un buscador basado en índices con acceso a una red semántica podría, al recibir la petición "automóvil", empezar por determinar que "coche" es un término equivalente, y recuperar después todas las páginas de la Red que contuvieran alguna de esas palabras. Ahora bien, tal proceso es un arma de doble filo: puede ser útil con la sinonimia, pero también puede agravar el problema de la polisemia.

E incluso como remedio para la sinonimia, la solución es problemática. La construcción y el mantenimiento de una red semántica que sea exhaustiva y transcultural (la Red no conoce las fronteras geográficas) constituyen tareas formidables. El proceso reviste especial dificultad en Internet, en la cual está evolucionando un lenguaje

nuevo, con palabras como “FAQs”, “zines” y “bots”, mientras que otras, como “surfear” y “hojear” han ampliado su campo semántico.

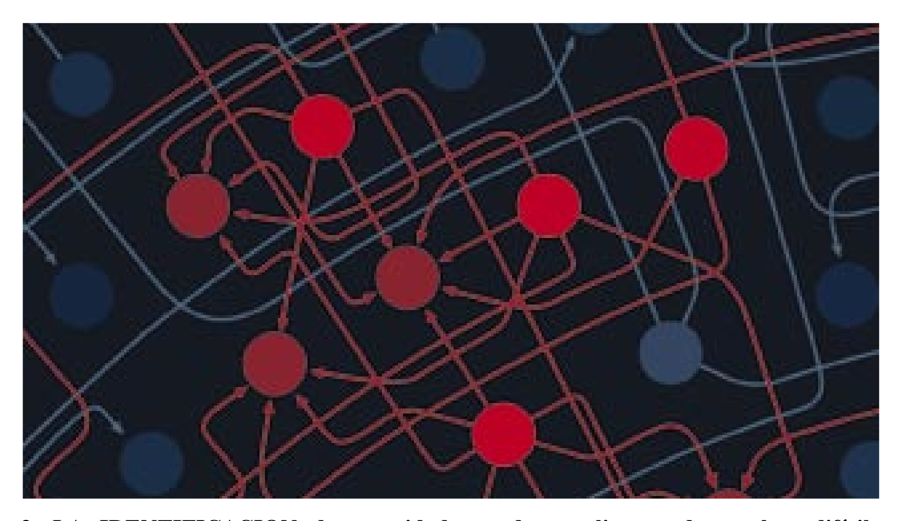
Nuestro trabajo en el proyecto Clever, en IBM, nació en medio de toda esa desconcertante barahúnda de cuestiones. Nos percatamos de que el actual sistema de indiciado y recuperación de páginas, basado en el texto que contienen, prescindía de los mil millones de vínculos cuidadosamente emplazados, que revelan las relaciones entre páginas. ¿De qué modo preciso podría emplearse esa información?

Cuando se lanza una búsqueda de la palabra “Harvard”, lo normal es que quiera uno adentrarse en el conocimiento de esa célebre universidad. Pero en la Telaraña hay más de un millón de sedes que contienen la palabra “Harvard”, y la página de portada de dicho centro superior no es la que aparece con mayor frecuencia, ni la sitúa al principio, ni se reputa de particular relieve por las funciones de gradación tradicionales. No existe en esa portada una característica interna que sugiera su importancia.

La verdad es que las páginas de la Telaraña son diseñadas con la mirada puesta en toda clase de objetivos. Las grandes sociedades anónimas desean que sus sedes causen una impresión y proyecten una imagen determinadas, objetivos que pueden diferir mucho de la descripción de lo que esa sociedad hace. Así, la página de portada de IBM no contiene la palabra “ordenador”. Ante ese tipo de situaciones, no sirven las técnicas de búsqueda tradicionales.

Para hacer frente a esta clase de problemas, los arquitectos y los diseñadores de ingenios de búsqueda sienten la tentación de intervenir. Después de todo, creen saber cuáles deberían ser las respuestas adecuadas a ciertas indagaciones. Además, el desarrollo de una función de gradación capaz de producir automáticamente esos resultados ha sido siempre empresa dificultosa. Podrían, pues, tratar de mantener una lista de peticiones como la de “Harvard”, en la que despreciarían el juicio del programa buscador, sustituyéndolo por respuestas “correctas” predeterminadas.

Algunos buscadores comienzan a adoptar esa técnica. De hecho, un servicio como Yahoo! contiene sólo páginas seleccionadas por personas. Pero el número de posibles peticiones es ilimitado. ¿Cómo sería posible, con un grupo reducido de expertos humanos, mantener todas esas listas de respuestas precomputadas, ofrecerlas actualizadas, al mismo tiempo que la Telaraña aumenta a razón de un millón de páginas al día?



3. LA IDENTIFICACION de autoridades y de ganglios puede resultar difícil, porque su definición es autoalusiva: una página hacia la que orientan muchos ganglios es una autoridad; un ganglio es una sede que encamina hacia muchas autoridades. El proceso admite una traducción matemática. Clever, un buscador en estadio de prototipo, le atribuye puntuaciones iniciales a páginas de la Telaraña que puedan resultar pertinentes para un determinado tema. Después, revisa esos números reiterando una serie de cálculos; en cada iteración, los valores dependen de la iteración anterior. Los cómputos continúan hasta que los números acaban por estabilizarse en sus valores definitivos, que pueden emplearse para determinar las máximas autoridades y los ganglios más útiles.

En nuestro trabajo, hemos abordado el problema de muy distinta manera. Hemos desarrollado una técnica automática para hallar, valiéndonos de los vínculos, las sedes principales, las más documentadas y veraces sobre amplias categorías de asuntos. Los vínculos constituyen uno de los recursos más preciosos de la Telaraña; son los que mantienen entretejidas, formando una red de conocimiento, a sus cientos de millones de páginas. Mediante dichas conexiones los usuarios van revisando las páginas, descubriendo, por pura casualidad a veces, informaciones valiosas gracias a las indicaciones y recomendaciones de personas a quienes nunca han conocido.

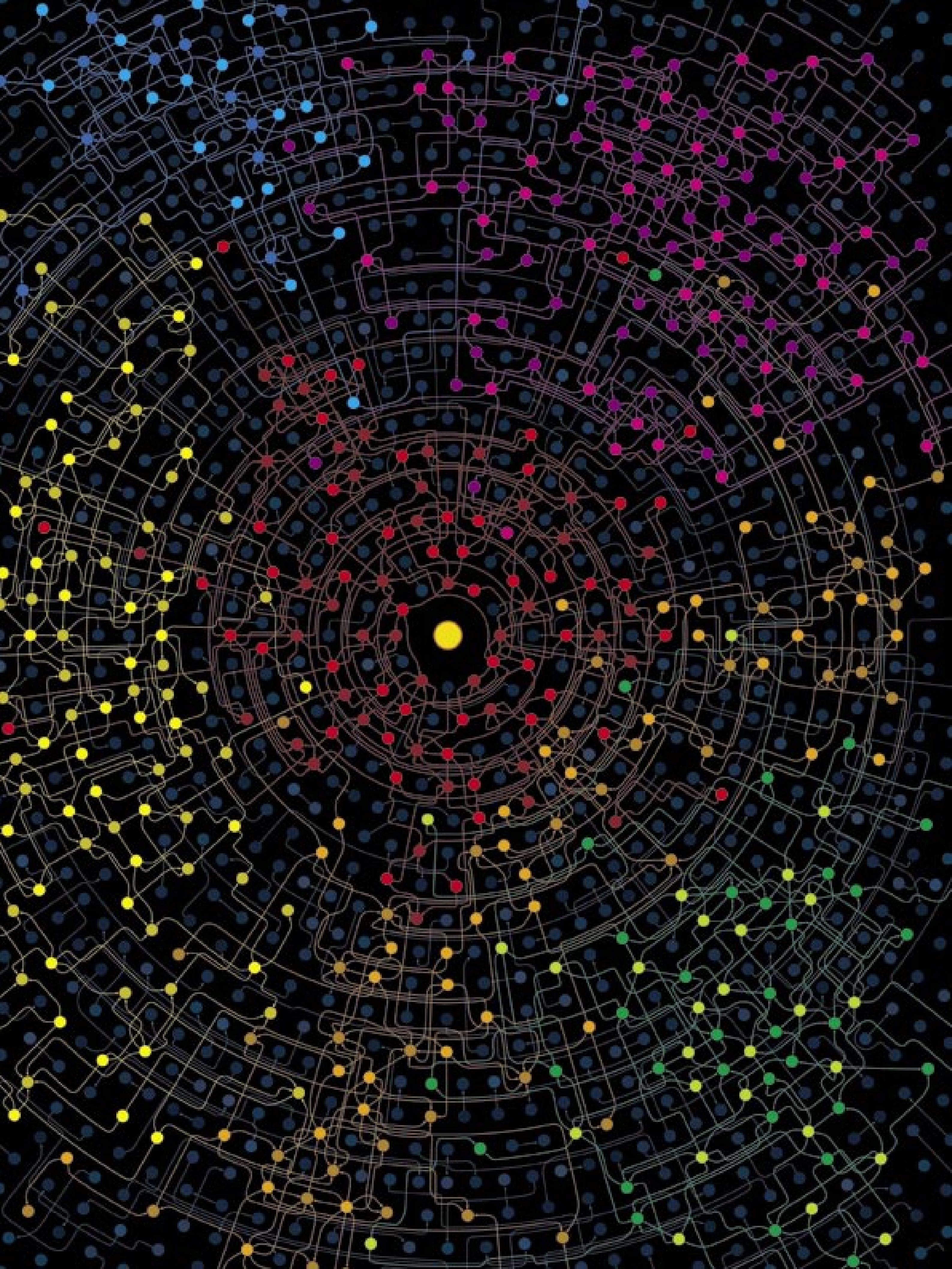
Partimos de la hipótesis según la cual cada enlace constituye un voto implícito en favor del sitio al que nos encamina. Imaginemos una sede de la Red mantenida por defensores de los derechos humanos, y que esa sede encamina a sus visitantes hacia la página de portada de Amnistía Internacional. En este caso, es obvio que la referencia significa aprobación.

Puede también haber enlaces cuyo único propósito sea facilitar la navegación (“Pinche aquí para volver al menú principal”), para servir de anuncio pagado (“Las vacaciones de sus sueños, a un clic de distancia”) o como marca de desaprobación (“Navegue hasta tal sitio y podrá leer bobadas”). Pese a todo, cuando se considera un número suficientemente grande, los enlaces de la Telaraña sí confieren autoridad.

Además de las sedes expertas que se han hecho merecedoras de muchas recomendaciones, la Telaraña está repleta de otro tipo de páginas: los “ganglios”, que orientan hacia aquellas prestigiosas ubicaciones y, por ello, radian una tácita influencia hacia ellas. Los ganglios se presentan en todo género de guisas, desde listas compiladas por profesionales en nodos comerciales, hasta recopilaciones del tipo “Mis enlaces favoritos” en páginas personales. Aun cuando nos resulte difícil definir “autoridades” y “ganglios” por separado, cabe afirmar lo siguiente: una autoridad respetada es una página mencionada por muchos ganglios de calidad; un ganglio útil es un nodo de la Red que encamina hacia muchas autoridades valiosas.

Las definiciones anteriores parecen irremediablemente autoalusivas. ¿Cómo podrían proporcionar un método computacional apto para identificar tanto a las autoridades como a los ganglios? Tras un análisis intuitivo del problema, hemos ideado un algoritmo.

Para echar a andar, examinamos un conjunto inicial, provisional, de



páginas “candidatas” sobre un determinado tema; para cada una de ellas conjeturamos, lo mejor que podemos, hasta qué punto es un ganglio útil y hasta qué punto es una autoridad. Acto seguido, con estas estimaciones iniciales, ponemos en marcha un proceso iterativo que consta de dos pasos.

Primero, nos servimos de las conjeturas recién formuladas sobre las autoridades provisionales para mejorar nuestra evaluación de los ganglios. Localizamos la totalidad de las máximas autoridades, observamos cuáles son las páginas que encaminan hacia ellas y damos a esas ubicaciones la calificación de ganglios útiles.

Segundo, nos servimos de la información actualizada sobre ganglios para refinar nuestras conjeturas sobre las autoridades; determinamos hacia qué lugares orientan más frecuentemente los mejores ganglios y los conceptuamos como buenas autoridades. Repitiendo estos pasos varias veces se logra el ajuste fino de los resultados.

Hemos implantado este algoritmo en Clever, un prototipo de buscador. Dada una petición cualquiera de un tema —la acupuntura, sea por caso— Clever empieza obteniendo una lista de 200 páginas tomadas de un índice textual estándar, por ejemplo, de AltaVista. Luego, el sistema las amplía añadiendo todas las páginas concatenadas con estas 200, hacia o desde ellas. De acuerdo con nuestra experiencia, la colección resultante, o conjunto raíz, consta de 1000 a 5000 páginas.

A cada una de las páginas del conjunto raíz, Clever le asigna puntuaciones numéricas iniciales de su valor como ganglio y de su valor como autoridad. El sistema, a continuación, refina esos valores. Para actualizar la puntuación de autoridad de cada página se efectúa la suma de las puntuaciones ganglionares de otras sedes que apuntan hacia ella; para revisar la puntuación de un ganglio, se toma la suma de las puntuaciones de autoridad de las sedes hacia las que orienta. Dicho de otro modo, las páginas que cuenten con muchos ganglios de puntuación alta apuntando hacia ellas adquirirán todavía mayor consideración como autoridades; las sedes que apunten hacia muchas autoridades de alta valoración cosecharán calificaciones aún más altas. Clever repite estos cálculos hasta que las puntuaciones se estabilizan en sus valores definitivos, a partir de los cuales se pueden determinar las máximas autoridades y los mejores ganglios. (Observemos que tales cómputos no impiden que una misma página alcance elevadas puntuaciones en ambas categorías, lo que ocurre en ocasiones.)

Resulta más fácil comprender el algoritmo mediante un símil gráfico. Imaginemos que la Telaraña es un territorio enorme con un sinfín de sedes, interconectadas, en apariencia, de forma aleatoria. Para un conjunto dado de páginas que contienen cierta palabra, Clever toma como diana la configuración más densa de enlaces entre dichas páginas.

La sumación iterativa de las puntuaciones de ganglios y autoridades puede analizarse por medios matemáticos rigurosos. El álgebra lineal permite representar el proceso en forma de multiplicación reiterada de un vector (en concreto, una fila de números denotativos de las puntuaciones de ganglios o de autoridades) por una matriz (una tabla bidimensional de números que representan la estructura de vínculos del conjunto raíz). El resultado final del proceso está constituido por un vector ganglionar y un vector autoridad que se han estabilizado en ciertos números, valores que revelan qué páginas son, respectivamente, los ganglios y autoridades óptimas. (En el mundo del álgebra lineal, tal fila de valores estabilizados se denomina vector propio; podemos imaginarlo como la solución de un sistema de ecuaciones definido por la matriz.)

Mediante un ulterior análisis de álgebra lineal, los autores han demostrado que el proceso iterativo se estabilizará presto en un conjunto más o menos fijo de puntuaciones de ganglios y autoridades. Para nuestros propósitos, un conjunto raíz de 3000 páginas requiere alrededor de cinco turnos de cálculo. Además, los resultados son, por lo general, independientes de las estimaciones iniciales tomadas para comenzar el proceso. El método funciona aun cuando todos los valores iniciales se toman iguales a 1. Así pues, las puntuaciones finales de ganglios y de autoridades tienen carácter intrínseco para la colección de páginas del conjunto raíz.

Un subproducto útil del procesamiento iterativo de Clever consiste en que el algoritmo separa y agrupa de una forma natural las sedes de la Telaraña. Una búsqueda de información sobre el aborto, por ejemplo, da por resultado dos tipos de sitios, los pro-vida y los pro-opción libre, porque las páginas de un grupo tienen mayor probabilidad de enlazarse entre sí que con las correspondientes a la otra comunidad.

Desde una perspectiva más amplia, el algoritmo de Clever revela la estructura subyacente de la Malla Máxima Mundial. Aunque Internet ha crecido de forma muy anárquica, posee cierto orden inherente basado en la concatenación de las páginas.

Metodológicamente, el algoritmo Clever guarda estrecha relación con el análisis de las citas, que estudia las regularidades con que los artículos remiten unos a otros. La medida más conocida de la importancia de una revista profesional se denomina “factor de impacto”. Esta métrica, desarrollada por Eugene Garfield, fundador de *Science Citation Index*, juzga el valor de una publicación por el número de veces que es citada.

En la Telaraña, la valoración de una página según el factor de impacto consistiría en el recuento simple del número de enlaces que nos encaminan hacia ella. Se trata, empero, de un método poco adecuado, pues puede favorecer sedes universalmente populares, como la página de portada del *New York Times*, con independencia del tema que interese.

Los expertos se han esforzado por mejorar la medida de Garfield, incluso en el campo del análisis de las citas, ya que ésta cuenta por igual todas las referencias. ¿No sería más justo conceder mayores pesos a las citas efectuadas en las revistas de mayor prestigio? Pero esa metodología conduce a una definición autoalusiva de “prestigio”, análoga al problema de especificar qué son ganglios y qué, autoridades. Ya en 1976, Gabriel Pinski y Francis Narin vencieron este obstáculo desarrollando un método iterativo para computar un conjunto estable de puntuaciones ajustadas, a las que denominaron ponderaciones de influencia. A diferencia de nuestro trabajo, Pinski y Narin no plantearon una distinción entre autoridades y ganglios. Su método, en esencia, traslada

4. LAS CIBERCOMUNIDADES (*representadas en distintos colores*) vienen a ser como poblaciones en la Telaraña. Una exploración de este fenómeno ha revelado la existencia de diversos grupos interesados por temas tan arcanos como los vertidos de petróleo en las costas de Japón, las brigadas de bomberos en Australia y los recursos disponibles para los turcos residentes en EE.UU.

EL PROYECTO CLEVER: Soumen Chakrabarti, Byron Dom, S. Ravi Kumar, Prabhakar Raghavan, Sridhar Rajagopalan y Andrew Tomkins son investigadores en el Centro Almadén de IBM en San José, Jon M. Kleinberg enseña en el departamento de informática de la Universidad Cornell y David Gibson está en la división de informática de Berkeley.
Los autores iniciaron, hace tres años, una investigación tendente a aprovechar la estructura de vínculos de la Red y desarrollar técnicas más eficientes para hallar información en el batiburrillo del ciberespacio. Respondían a un reto decisivo: si no se tuviera en cuenta la carga computacional, ¿cuál sería el algoritmo de búsqueda más eficiente? De otro modo: ¿no se podría construir un buscador mejor si el procesamiento no tuviera que ser instantáneo? El resultado ha sido el algoritmo descrito en este artículo.

directamente las ponderaciones de una autoridad cualificada a otra.

Esta diferencia plantea una cuestión fundamental al comparar la Red con la bibliografía científica impresa tradicional. En el ciberspacio es frecuente que las autoridades en competencia no reconozcan la existencia de otras (por ejemplo, Netscape y Microsoft en la cuestión de los navegadores), por lo que sólo quedarán conectadas por una capa intermedia de ganglios. Por contra, las revistas científicas más destacadas, aunque rivales, de ordinario sí remiten unas a otras, lo que hace mucho menos crucial el papel de los ganglios.

Se está investigando la potencia de los vínculos para la exploración de la Red. Sergey Brin y Lawrence Page, de la Universidad de Stanford, han desarrollado un buscador —le llaman Google— que lleva a la práctica una medida basada en los enlaces; tiene relación con las ponderaciones de influencia de Pinski y Narin. Los científicos de Stanford basan su metodología en un modelo de navegante de la Red que va siguiendo enlaces y de cuando en cuando salta al azar, llegando a ciertos lugares con más frecuencia que a otros. Así, Google encuentra un único tipo de página universalmente importante (sedes que son muy visitadas al realizar recorridos aleatorios por la estructura de enlaces de la Telaraña). En la práctica, lo que hace Google es sumar, para cada página, las puntuaciones de otras sedes que apuntan hacia aquélla. Al serle presentada una petición específica, Google puede así responder rápidamente, recuperando todas las páginas que contienen el texto buscado, y preparando una lista ordenada según sus valores precomputados.

Dos son las principales diferencias que presentan Google y Clever. En primer lugar, Google asigna gradaciones iniciales y las retiene con independencia de las peticiones, mientras que Clever ensambla un conjunto raíz diferente para cada uno de los términos a buscar y jerarquiza después esas páginas en el contexto de la petición concreta. En consecuencia, la metodología de Google permite respuestas más rápidas. En segundo lugar, el planteamiento básico de Google consiste en mirar sólo hacia adelante, de enlace en enlace. Clever, por contra, también mira hacia atrás desde las páginas de autoridad, para ver qué sedes orientan hacia ella. En este sentido, Clever aprovecha el fenómeno sociológico de la tendencia de los humanos a crear "contenido ganglionar", expresión de su pericia en temas determinados.

Estamos explorando diversas formas de ampliación de Clever. Una directriz fundamental de nuestra metodología general es la integración de textos en vínculos. A este propósito conviene admitir que ciertos enlaces son de mayor peso que otros, según la relevancia del texto en la sede de la Red aludida. En concreto, podemos analizar el contenido de las páginas del conjunto raíz atendiendo a las apariciones y posiciones relativas del tema solicitado, y utilizar esta información para asignar ponderaciones numéricas a algunas de las conexiones entre esas páginas. Si, por ejemplo, el texto solicitado apareciera a menudo y en las cercanías de un enlace, aumentaríase la ponderación correspondiente.

Nuestros experimentos preliminares hacen pensar que este refinamiento mejora el enfoque de los resultados de la búsqueda. (Una de las limitaciones de Clever ha sido que, si el tema es muy restringido, el sistema, en ocasiones, amplía su búsqueda y recupera información sobre algún tema general.) Estamos investigando otros perfeccionamientos, y en vista de los muchos estilos de autoría de páginas que ofrece la Telaraña, la ponderación de los enlaces podría incorporar de diversas formas el contenido de la página.

Hemos empezado también a construir listas de los recursos de la Telaraña, similares a las guías compiladas manualmente por empleados de compañías como Yahoo! e Infoseek. Nuestros primeros resultados indican que las listas así compiladas automáticamente pueden competir con las artesanales. Además, durante este trabajo hemos hallado que la Telaraña abunda en grupos fuertemente entretejidos, compuestos por personas con intereses poco frecuentes (por ejemplo, domingueros entusiastas del sumo, que enjaezados con voluminosas prendas especiales de plástico, se enfrentan entre sí por diversión), por lo que en la actualidad estamos investigando métodos automáticos y eficientes para hacer aflorar estas comunidades ocultas.

La Malla Máxima Mundial de hoy difiere como la noche del día de la Malla de hace cinco años. Pronosticar cómo será dentro de otros cinco años parece fútil. ¿Resultará impracticable incluso la creación de índices de la Red? En tal caso, ¿experimentará cambios fundamentales la noción que tenemos de búsqueda en la Telaraña? De lo que sí estamos seguros es del inagotable crecimiento de la Red, que seguirá planteando problemas computacionales para ir vadeando, más que navegando, el incesante aumento de caudal de información en línea.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

Search Engine Watch (www.searchenginewatch.com) contiene información sobre los últimos avances en buscadores. El proyecto WordNet está descrito en *WordNet: An Electronic Lexical Database* (MIT Press, 1998), compilado por Christiane Fellbaum. El método iterativo para la determinación de ganglios y de autoridades apareció en el artículo de Jon M. Kleinberg "Authoritative Sources in a Hyperlinked Environment" en *Proceedings of the 9th ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, coordinado por Howard Karloff (SIAM/ACM-SIGACT, 1998). Los perfeccionamientos del algoritmo están descritos en el sitio del Centro Almadén de Investigación de IBM (www.almaden.ibm. com/cs/k53/clever.html). En *Introduction to Infometrics* (Elsevier Science Publisher, 1990), de Leo Egghe y Ronald Rousseau, se da una adecuada exposición de carácter general del análisis de citas. Se puede obtener información sobre el proyecto Google de la Universidad de Stanford en la Telaraña, en www.google.com.

El lenguaje XML

El hipertexto e Internet, combinados, iniciaron una revolución. Un ingrediente nuevo, el lenguaje XML, se dispone a terminar la tarea

Jon Bosak y Tim Bray

A las personas, unos pocos indicios suelen bastarles para deducir el resto. En una ojeada a esta página veremos palabras en letras grandes, seguidas de bloques de texto en letra pequeña. El lector reconoce en el acto el comienzo de un artículo. Examina una lista de artículos de venta por correo y enseguida distingue las instrucciones para hacer el encargo. Con unas cuantas líneas de números se entera del estado de su cuenta corriente.

Los ordenadores no son tan inteligentes. Hay que indicarles con exactitud qué sea cada cosa, qué relación guardan unas con otras y cómo deben manejarlas. El lenguaje ampliable de anotación, más conocido por lenguaje XML (*Extensible Markup Language*), responde a ese propósito. Se busca con él lograr que la información se describa a sí misma. Sencillo como suena, tal cambio en la forma de comunicarse los ordenadores abre la posibilidad de que Internet trascienda la mera entrega de información y opere otras muchas clases de actividades. Desde que el World Wide Web Consortium (abréviase en W3C) terminó de elaborar el XML, a primeros de 1998, este estándar se ha propagado como una ráfaga de fuego por la ciencia y se ha introducido en la industria y la medicina.

Tamaño entusiasmo en la respuesta se aviva en la esperanza de que el XML resuelva algunos de los mayores problemas de la Red Mundial. Son éstos bien conocidos: la velocidad de



1. El XML SALVA las incompatibilidades de los sistemas informáticos. Permite la búsqueda e intercambio de datos científicos, productos comerciales y documentos plurilingües. Y todo ello, con facilidad y presteza.

<El XML más el XSL permiten a los autores verter una publicación en una miríada de moldes: escribir una vez, publicar por doquier./>



Internet es la de la luz, pero, con frecuencia, se navega por ella a la de tortuga. Y aunque prácticamente todo tipo de información está disponible en línea, puede resultar de una dificultad exasperante encontrar el dato requerido.

Ambos problemas surgen, en parte, por la naturaleza misma del principal lenguaje de la Web, el hipertexto, o mejor, el HTLM (sigla de "Hypertext Markup Language", lenguaje de anotación de hipertexto). Aunque el HTLM es el lenguaje de publicación electrónica con mayor éxito de los inventados, peca de superficialidad. Se limita a describir la forma en que un hojeador o navegador de la Red ha de organizar en una página los textos, las imágenes y los botones. Al estar el HTLM orientado hacia la forma en que ha de aparecer en la página cada elemento, resulta fácil de aprender; pero ello también tiene sus costos.

Uno de ellos es la dificultad de crear sitios o nodos que sean algo más que lujosas máquinas para envío de documentos facsímiles a quien los solicite. Los individuos y las empresas desean tener en la Red sitios capaces de recibir pedidos de los clientes, de trasmitir historiales médicos e incluso de hacer funcionar fábricas o controlar instrumentos científicos desde el otro extremo del mundo. Jamás se pensó en tal tipo de tareas cuando se pergeñó el HTLM.

Así pues, aunque un médico pueda llevar el historial de alergias medicamentosas de un paciente hasta su programa de navegación por la Red, y enviarlo después por correo electrónico a una especialista, no puede, en cambio, confiar en que ésta "pegue" su ficha directamente en la base de datos de su hospital. El ordenador de la especialista no sabría interpretar la información, que no sería para la máquina más inteligible que <H1> bla bla </H1><NEGRITAS> bla bla bla </NEGRITAS>. Es lo que con ironía critica un programador legendario, Brian Kernighan: lo malo del sistema "Tienes lo que ves" es que lo único que se tiene es lo que se ve.

Los rótulos encerrados entre corchetes angulares en el ejemplo anterior reciben el nombre de "etiquetas". El HTLM carece de etiquetas que denoten alergias a medicamentos, lo que pone de relieve una de sus limitaciones: es poco flexible. La adición de una etiqueta nueva entraña un proceso burocrático cuya duración sirve de freno disuasor. Y sin embargo, cada aplicación nueva, y no sólo el intercambio de fichas clínicas, requiere etiquetas propias.

De aquí la lentitud del progreso de las librerías de venta "en línea", de los catálogos de venta por correo y de otros nodos interactivos de la Red. Modifíquese la cantidad o el modo de envío del encargo y, para ver la media docena de dígitos que han cambiado en el total, resulta necesario solicitar a un servidor distante y sobrecargado el envío de una página nueva completa, con sus gráficos y demás aditamentos. Entretanto, nuestra potente máquina permanece ociosa, "en punto muerto", porque sólo se le ha informado de los <H1> y las <NEGRITAS>, pero no de los precios ni de las diversas modalidades de envío.

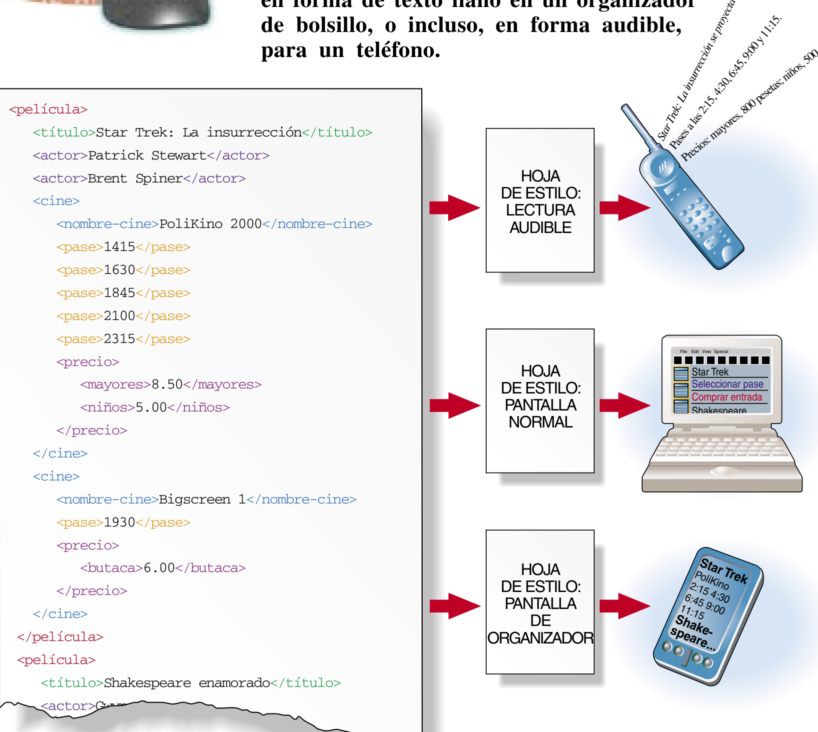
Y también de aquí la insatisfactoria calidad de las búsquedas en la Red. Sin forma de establecer que ciertos caracteres corresponden a un precio, resulta imposible utilizar datos sobre precios al buscar información.

En parte viejo, nuevo en parte

La solución, en teoría, es harto sencilla: utilizar etiquetas que digan qué es la información, no qué aspecto ofrece. Por ejemplo, en vez de etiquetar las partes del encargo de una camisa por negritas, párrafo, fila y columna —lo que el HTLM ofrece—, emplear conceptos como precio, talla, cantidad y color. Un programa puede entonces reconocer que este documento corresponde al encargo de un cliente y acometer lo que proceda: mostrarlo en la forma que convenga, trasladarlo a un sistema de contabilidad o encargarse de



2. ANOTADO CON ETIQUETAS XML, un archivo que contuviera, pongamos por caso, la cartelera de películas de una ciudad, podría manifestarse mediante una amplia gama de dispositivos. Las "hojas de estilo" pueden filtrar, reordenar y exponer las listas, sea en forma de una página con gráficos de la Red, como en el caso de un ordenador de sobremesa, en forma de texto llano en un organizador de bolsillo, o incluso, en forma audible, para un teléfono.

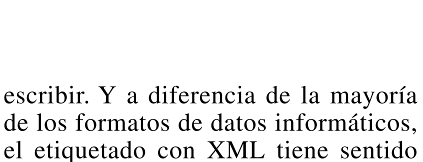


JON BOSAK y TIM BRAY han desempeñado papeles cruciales en el desarrollo de XML. Bosak, experto en técnicas de información reticular de Sun Microsystems, organizó y dirigió el grupo de trabajo World Wide Web Consortium, creador del XML. Bray es coeditor de la especificación *XML.10* y de otra norma afín, *Namespaces in XML*.

que mañana por la mañana aparezca una camisa nueva en el umbral de su casa.

Nosotros, miembros de un grupo de trabajo W3C, empezamos en 1996 a llevar a la práctica una solución de este tipo. La idea era potente, aunque no del todo original. Durante generaciones, en las redacciones de las editoriales se han venido haciendo anotaciones en los manuscritos, para dar instrucciones a los tipógrafos. Este sistema de "marcado" evolucionó a su albur hasta 1986, fecha en la que, tras decenios de trabajo, la Organización Internacional de Normalización, el ISO ("International Organization for Standards"), aprobó un sistema para la creación de nuevos lenguajes de marcado.

<El XML permite intercambiar información entre distintos sistemas informáticos, así como a través de las fronteras nacionales y culturales./>



Este sistema, denominado SGML ("Standard Generalized Markup Language", lenguaje de anotación estándar generalizado), es un lenguaje para la descripción de lenguajes —un metalenguaje— que ha demostrado su utilidad en muchas aplicaciones de carácter editorial. De hecho, el HTML se definió utilizando el SGML. El único problema que presenta el SGML es su excesiva generalidad; además, está repleto de ingeniosas soluciones para ahorrar pulsaciones de tecla, propias de una época en la que cada octeto era precioso. Es un lenguaje demasiado complejo, excesivamente rico para los programas de navegación por la Red.

Nuestro equipo creó el XML eliminando del SGML sutilezas incontables, buscando conseguir un metalenguaje más estilizado y compacto. El XML consiste en reglas que todos pueden seguir para crear desde cero un lenguaje de etiquetado. Las reglas aseguran que un solo programa compacto, que suele ser conocido por *parser*, sea capaz de procesar todos estos lenguajes nuevos.

Pensemos de nuevo en el médico que desea enviar por correo electrónico una historia clínica a un especialista. Si la profesión médica utiliza XML para forjar un nuevo lenguaje de marcado idóneo para la codificación de historias clínicas —y de hecho, son varios los grupos que han empezado a trabajar en ello— entonces el mensaje electrónico del médico podría contener <paciente><nombre> bla bla </nombre> <alergias medicamentosas> bla bla </alergias medicamentosas></paciente>. La programación de un ordenador cualquiera para que reconozca esta notación médica estándar y añada este estadístico vital a su base de datos no presenta dificultad.

De igual modo que el HTLM abrió una vía para que todo usuario de ordenador pudiera leer documentos de Internet, el XML hace posible, a pesar de la Babel de sistemas informáticos incompatibles, la creación de un esperanto, que todos sepan leer y escribir. Y a diferencia de la mayoría de los formatos de datos informáticos, el etiquetado con XML tiene sentido también para los humanos, pues consta de texto ordinario.

La potencia unificadora del XML es resultado de unas pocas reglas bien elegidas. Una de ellas, que las etiquetas (o descriptores) casi siempre se presenten por pares. Al igual que los paréntesis, encierran el texto que acotan. Y lo mismo que las comillas, los pares de etiquetas pueden ser incrustados unos dentro otros, formando niveles múltiples.

La regla de incrustación impone automáticamente cierta simplicidad a cada documento XML, que adopta una estructura en árbol. Lo mismo que en un árbol genealógico, aquí cada gráfico y cada elemento de texto del documento representa un padre, un hijo o un hermano de algún otro elemento; las relaciones son inequívocas. Aunque los árboles no permiten representar cualquier tipo de información, sí pueden representar casi todas las que necesitamos que los ordenadores comprendan. Los árboles, además, les resultan extraordinariamente cómodos a los programadores. Si su estado bancario está organizado en árbol, la redacción de un programa que reordene las transacciones o presente sólo los cheques abonados es cosa sencilla.

Otra fuente de la potencia unificadora del XML es que descansa en una nueva norma llamada Unicode, un sistema de codificación de caracteres que soporta la intercalación de textos de los principales lenguajes del mundo. En HTLM, lo mismo que en casi todos los procesadores de texto, un documento se encuentra, por lo general, en un lenguaje determinado, sea éste español, árabe o japonés. Si nuestro soporte lógico no sabe leer los caracteres de ese lenguaje, no podremos utilizar el documento. La situación todavía puede empeorar incluso; es frecuente que programas preparados para su empleo en Taiwan no puedan leerse en China continental por culpa de la incompatibilidad de sus codificaciones. Pero los programas que lean debidamente el XML pueden habérselas con cualquier combinación de cualesquiera de estos sistemas de caracteres. Así pues, el XML permite intercambiar información entre diferentes sistemas informáticos, así como a través de las fronteras nacionales y culturales.

El fin de la Máxima Morosidad Mundial

Con la difusión del XML en la Red, la Malla Máxima Mundial debería responder apreciablemente mejor. En el presente, los dispositivos de cómputo conectados a la Red, sean potentes ordenadores de sobremesa o diminutos planificadores de bolsillo, apenas pueden hacer más que obtener un formulario, cumplimentarlo e irlo transfiriendo de aquí para allá a un servidor de la Red, hasta que concluye la tarea. En cambio, la información estructural y semántica que el XML permite incluir faculta a estos dispositivos para realizar *in situ* una gran parte del procesamiento. Con ello, además de ser retirada una pesada carga de los servidores de la Red, también se reduciría de forma impresionante el tráfico a su través.

Para comprender por qué, imaginemos que acudimos a una agencia de viajes electrónica en busca de información sobre los vuelos de Londres a Nueva York el día 4 de julio. Lo más probable es que recibamos una lista varias veces más larga de lo que la pantalla puede presentar. Se podría abreviar el elenco detallando más la hora de salida, el precio o la compañía; mas, para eso, tendría que enviarse a través de Internet una petición a la agencia, y esperar la respuesta. Ahora bien, si la lista de vuelos se hubiera enviado en XML, la agencia de viajes podría enviar junto con las fichas de los vuelos un breve programa en Java para clasificar la lista y espigarla en pocos microsegundos, sin intervención del servidor. Multipliquemos esto por unos cuantos millones de usuarios de la Malla, y la ganancia en eficiencia global resultará impresionante.

Conforme vaya creciendo la información de la Red que se marca con etiquetas XML específicas de cada industria, más fácil resultará encontrar lo que se necesita. Si buscamos en Internet "empleos bancarios", nos llegará a buen seguro una riada de anuncios, pero lo más probable es que no salgan sino unos pocos epígrafes que contengan ofertas de empleo, en su mayoría, enterradas en las secciones de anuncios clasificados de los nodos de los periódicos que publican en Red, lejos del alcance de la búsqueda de un robot. Pero la Asociación de la Prensa de Estados Unidos está construyendo ahora un lenguaje de etiquetado para anuncios clasificados que, fundado en XML, promete hacer mucho más eficaces tales búsquedas.

Pero esto no es más que un paso intermedio. Hace mucho que los bibliotecarios descubrieron que la forma presta de hallar datos no consiste en examinar la información propiamente dicha, sino en ceñirse a un conjunto de referencias mucho menor, que nos oriente hacia las fuentes útiles: de aquí el catálogo de fichas de la biblioteca. Tal información sobre la información constituye lo que se llama un sistema de metadatos.

Desde el primer momento, parte del proyecto XML consistió en la creación de una norma gemela para metadatos. El RDF ("Resource Description Framework", sistema de descripción de recursos), recién concluido, debería ser para los datos de la Red lo que los ficheros bibliográficos son para las obras de una biblioteca. Desplegados por la Red, los metadatos RDF harán que la recuperación de información sea mucho más rápida y precisa que en la actualidad. Puesto que en la Red no hay bibliotecarios, y dado que el máximo deseo de los controladores de nodos es que su sitio sea visitado, confiamos que en



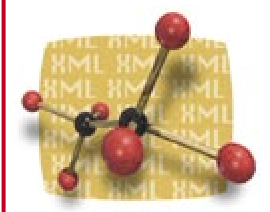
3. UN HIPERENLACE XML puede abrir un menú con varias opciones. Una de ellas podría insertar una imagen en la página activa, como el mapa de plazas de un avión (*flecha roja*). Otros enlaces podrían hacer funcionar un pequeño programa para reservar un vuelo (*flecha amarilla*). Los enlaces pueden también conectar con otras páginas (*flecha azul*).

cuanto la potencia del RDF resulte clara, provocará un asombroso ritmo de crecimiento de Internet.

Además de las búsquedas, existen, obviamente, otras formas de hallar lo que interesa. Después de todo, la Red es un "hipertexto", cuyos miles de millones de páginas están conectadas por hiperenlaces, esas palabras subrayadas en las que se "pincha" para pasar de una página a la siguiente. También los hiperenlaces tendrán mayores capacidades cuando estén propulsados por el XML. Un estándar para hipertexto basado en XML, llamado XLink, que el grupo W3C confía tener disponible dentro de este mismo año, permitirá al usuario elegir entre una lista de múltiples destinos. Con otros tipos de hiperenlaces se facilitará la inserción de textos o imágenes en el punto justo donde piquemos, sin necesidad de abandonar la página.

Tal vez el aspecto más útil de XLink sea el recurso posible a enlaces indirectos que apunten a entradas en cierta base de datos central, en vez de hacerlo a las páginas concatenadas mismas. Cuando una página cambia de dirección, el autor podrá poner al día todos los enlaces que señalan a ella con sólo editar un único registro de una base de datos. Ello debería contribuir a eliminar el conocido error "404 File Not Found" indicativo de hiperenlace roto.

La combinación de un procesamiento más eficiente, una búsqueda más precisa y de un enlace más flexible revolucionarán la estructura de la Malla y crearán vías inéditas de acceso a la información. Los usuarios encontrarán que esta nueva Malla es más rápida, más potente y más útil que la Malla de hoy.



Nuevos lenguajes para la ciencia

El XML ofrece una vía óptima de intercambio de teorías, cálculos y resultados experimentales. A los matemáticos siempre les ha resultado fastidioso que los navegadores de la Malla sólo puedan presentar las fórmulas como si fueran dibujos. En la actualidad, el **MathML** les permite ya insertar ecuaciones en sus páginas de la Red con unas pocas líneas de texto sencillo. Los lectores pueden después pegar estas expresiones directamente en programas de tratamiento algebraico y proceder a calcularlas o representarlas en gráficos.

Los químicos han ido un paso más allá. Han desarrollado nuevos programas hojeadores para su CML ("Chemical Markup Language", lenguaje de anotación química) capaz de representar gráficamente la estructura molecular de los compuestos descritos en las páginas CML de la Red. Tanto el CML como el de anotación astronómica facilitarán a los investigadores la tarea de cernir rápidamente entre resmas de citas de revistas profesionales para encontrar los artículos aplicables al objeto de sus estudios. Basta con dar las coordenadas celestes de una galaxia para obtener una lista de imágenes, artículos de investigación y datos instrumentales relativos a ese objeto astronómico.

El XML facilitará no sólo el análisis de los resultados de los experimentos, sino también su realización. Los ingenieros de la NASA empezaron el año pasado a trabajar en el **Astronomical Instrument ML** (AIML), cuya finalidad es que, desde tierra, pueda controlarse el telescopio infrarrojo SOFIA mientras vuela a bordo de un Boeing 747. El AIML debería acabar permitiendo el control de telescopios, y tal vez, incluso de satélites, a través de Internet, por medio de programas de navegación sencillos.

Es probable que en genética comience a generalizarse el lenguaje **Biosequence ML** (BSML) para el intercambio y manipulación del flujo de información producido por los proyectos de la cartografía y secuenciación de genes. Un hojeador BSML construido y distribuido por Visual Genomics (Columbus, Ohio) permite rebuscar en vastas bases de datos de código genético y observar los segmentos resultantes en forma de mapas y gráficos significativos, ahorrándose opacas ristras de letras.

—Redacción

El necesario ensamblaje

Ni que decir tiene que no es fácil. El XML permite a quien lo desee el diseño de un lenguaje nuevo, construido a la medida; pero el diseño de buenos lenguajes es una tarea delicada que no debe emprenderse a la ligera. Y el diseño no es más que el primer paso: los significados de nuestras etiquetas no van a resultarles obvios a otros, a menos que se escriba algo de prosa para explicarlos, ni tampoco serán comprendidos por los ordenadores a menos que se preparen los programas adecuados para procesarlas.

Un momento de reflexión nos hace comprender por qué. Si todo lo necesario para enseñar a un ordenador a gestionar una orden de compra fuera rotularla con etiquetas <orden-compra>, el XML no sería necesario. Ni siquiera nos harían falta programadores; las propias máquinas serían lo bastante listas para cuidar de sí mismas.

Lo que hace el XML es menos mágico, aunque sobradamente eficaz. Establece normas básicas que despejan una capa de detalles de programación, para que los interesados puedan concentrarse en lo difícil, a saber, convenir de qué formas desean representar la información que se intercambian. Nada nuevo.

Tales convenios llegarán forzosamente a establecerse, porque la proliferación de sistemas informáticos incompatibles ha impuestos demoras, costos y confusiones en prácticamente todas los campos de la actividad humana. La gente desea intercambiar ideas o hacer negocios sin tener que usar obligatoriamente los mismos ordenadores; los lenguajes de intercambio de actividades específicas han andado un largo camino para hacerlo posible. De hecho, un chaparrón de nuevos acrónimos acabados en "ML" da testimonio en favor de la inventiva desencadenada por el XML en las ciencias y el comercio.

Antes de esbozar un nuevo lenguaje XML, los diseñadores han de ponerse de acuerdo en tres cosas: cuáles van a ser las etiquetas permisibles, cómo se van a encajar unos en otros los elementos etiquetados, y de qué forma habrán de ser procesados. Las dos primeras —el vocabulario del lenguaje, y su estructura— quedan normalmente codificadas en una Definición de Tipo de Documento ("Document Type Document", DTD). La norma XML no obliga a los diseñadores de lenguajes a usar las DTD, pero es probable que la mayoría de los nuevos lenguajes las empleen, porque facilitan mucho a

los programadores la preparación de programas que comprendan el marcado y puedan hacer cosas inteligentes con él.

Los programadores necesitarán también un conjunto de directrices que describan, en lenguaje humano, el significado de todas las etiquetas. El HTML, por ejemplo, no sólo tiene una DTD, sino también cientos de páginas de prosa descriptiva, que a los programadores les sirve de referencia cuando escriben hojeadores y demás programas de la Red.

Una cuestión de estilo

Para los usuarios, lo importante es lo que estos programas lleven a cabo, no lo que digan las descripciones. En muchos casos, se necesitará que los soportes lógicos presenten a lectores humanos información codificada en XML. Pero las etiquetas XML no ofrecen indicaciones intrínsecas sobre el aspecto que ha de presentar la información en la pantalla o en el papel.

Ello constituye en realidad una ventaja para los gestores editoriales, quienes, con frecuencia, lo que querrían es "escribir una vez y publicar por doquier". El XLM les permite hacerlo etiquetando el contenido para describir su significado, con independencia del medio de presentación. Los editores pueden entonces aplicar reglas organizadas en "hojas de estilo" para que el trabajo adapte automáticamente su formato a diversos dispositivos. La norma hoy en preparación para hojas de estilo XLM responde a las siglas XSL ("Extensible Stylesheet Language", Lenguaje extensible de hojas de estilo).

Las últimas versiones de diversos navegadores de la Malla leen documentos XML, buscan la hoja de estilo apropiada y la aplican a la clasificación y configuración de la información en la pantalla. El lector podría no saber nunca que está mirando XTL en lugar de HTML, salvo porque los nodos basados en XTL son rápidos y fáciles de utilizar.

Las personas con discapacidades visuales obtienen sin costo un beneficio de esta forma de publicación. Las hojas de estilo les permitirán traducir el XML en braille o en habla audible. Las ventajas se extienden también a otros grupos sociales; por ejemplo, a quienes viven lejos del trabajo y desean "darse una vuelta" por Internet, puede resultarles cómodo que le sean leídas en voz alta páginas de la Red mientras viajan en sus coches.

Si bien la Red ha servido de gran ayuda para la ciencia y el estudio, es el comercio el que ha nutrido su rápido crecimiento. Verdad es que la reciente crecida de las ventas al por menor en la Red ha atraído la máxima atención; pero no lo es menos que el comercio "en línea" entre empresas ha ido creciendo con pareja rapidez. El flujo de bienes a través de procesos de manufactura, por ejemplo, reclama ser automatizado. Pero los planes basados en la interacción directa, de programa a programa, no han funcionado bien en la práctica porque dependen de una uniformidad de procesamiento que no existe.

Durante siglos, los humanos han estado efectuando negocios con éxito merced al intercambio de documentos normalizados: órdenes de compra, facturas, manifiestos, recibos, y así por demás. Los documentos funcionan para el comercio porque no requieren que las partes implicadas conozcan los procedimientos internos de la otra. Cada registro informa exactamente de lo que su receptor necesita saber, y nada más. Es probable, también, que el intercambio de documentos constituya la forma correcta de hacer negocios "en línea". Pero el HTML no fue construido pensando en esa función.

El XML, por el contrario, ha sido diseñado para el intercambio de documentos, y está quedando claro que el comercio electrónico universal descansará fuertemente en un flujo de acuerdos, expresado en millones de documentos XML transmitidos de un lado a otro mediante impulsos electrónicos que recorren Internet.

Así pues, para sus usuarios, la Red propulsada por XML será más rápida, más amigable, y un lugar mucho mejor para hacer negocios. Los diseñadores de sitios de la Malla, por otra parte, encontrarán la labor más exigente. Harán falta batallones de programadores para sacar pleno partido a los lenguajes XML. Y aunque el día del "gurú" autodidacto de la Red no ha concluido todavía, sí corre riesgo de extinción. Los futuros diseñadores de la Red tendrán que estar versados no sólo en la producción de palabras y gráficos, sino también en la construcción de sistemas multiestráticos e interdependientes de DTD, de árboles de datos, de estructuras de hiperenlace, de metadatos y hojas de estilo, vale decir, de una infraestructura más robusta para la segunda generación de la Red.

Sasha Nemecek

GRO HARLEM BRUNDTLAND: Cuando la salud es el mejor negocio

El mes de julio del año pasado, al hacerse cargo de la dirección de la Organización Mundial de la Salud (OMS), Gro Harlem Brundtland presentó un plan sumamente ambicioso. "Podemos combatir la enfermedad. Podemos comprometernos en la lucha contra la pobreza y el sufrimiento. Nada en la vida, según a mí se me alcanza, tiene mayor sentido." Palabras que se dirían propias de un idealista ingenuo. Pero esperaríamos en vano oír de sus labios una soflama sobre la nobleza de la ayuda a los menesterosos. Con términos severos esbozará su línea de trabajo pergeñada mediante trazos económicos.

Me citó en la sede central de la OMS en Ginebra, una ciudad con magníficas vistas de los Alpes, repleta de joyerías, de comercios de chocolate y de bancos suizos, por supuesto. Sin embargo, a pesar de su opulencia, Ginebra es también una ciudad para los pobres y los que sufren. Además de la OMS, otras organizaciones de ayuda internacional tienen aquí sus oficinas centrales. Recordemos el Comité Internacional de la Cruz Roja y el Alto Comisariado de las Naciones Unidas para los Refugiados. Esta vecindad le viene de perlas a los planes de Brundtland. En su opinión, el dinero invertido en aliviar los apuros de los pobres del mundo presenta un trasfondo que supera las meras razones humanitarias: es también bueno para los negocios. Repite este argumento a cuantos y donde quieran oírla. No cesa de defender ante gobiernos e instituciones (públicas y privadas) que los programas de vacunación infantil y otros pueden reducir los gastos.

No debe sorprendernos si asociamos la idea de pescar a la gente por el bolsillo a vieja táctica de político. A los 7 años, Brundtland (nacida en Oslo en 1939) ingresó en el Partido Laborista Noruego, del que no se ha desligado nunca. Desempeñó el cargo de primera ministra de Noruega por tres mandatos, durante los años ochenta y noventa. Cuando toma asiento en la gran mesa rectangular de su sala de reuniones de la OMS, me imagino la estancia llena de jefes de estado, con traductores a sus lados, discutiendo y negociando hasta bien entrada la noche. Pero ahora, a primera hora de la tarde, la habitación se llena de luz. El intenso reflejo de las nieves del Mont Blanc, que reluce tras los ventanales, me deslumbra. Percibo sólo la silueta de la directora, de espaldas a la luz. Pero su voz es fuerte, clara y entonada.

Evoca su ingreso en la política, en 1974: "En aquel momento tenía 35 años y era médico de la sanidad pública; preparaba mi tesis." Se había licenciado en la facultad de medicina de Oslo en 1963 y se especializó en salud pública en la Universidad de Harvard. Regresó a Noruega en 1965, y comenzó a trabajar para el Ministerio de Sanidad noruego, donde se ocupó sobre todo de la salud infantil. Tras nueve años de dedicación, el primer ministro le formuló una interesante propuesta: le ofreció a Brundtland entrar a formar parte de su gabinete.

La invitación "me sorprendió totalmente", recuerda. "Le pregunté: —¿Quiere decir en el Ministerio de Sanidad? Y me respondió: —No, en el de Medio Ambiente." Pero Brundtland pronto comprendió la conexión entre ambos: "Lo que influye en la salud de la gente es lo que respiran, lo que beben, lo que comen. De modo que el aire, el agua, el saneamiento —todas las cualidades del entorno— son esenciales."

Aceptó el nombramiento. Una de sus primeras tareas consistió en presidir una conferencia con otros ministros europeos de medio ambiente sobre el contencioso de la lluvia ácida. La discusión se centró en la lluvia ácida que caía sobre Noruega, causada por la contaminación producida en Inglaterra. "Muchos países se oponían a plantear este debate porque extendía la responsabilidad de lo que ocurriera más allá de sus fronteras como consecuencia de lo que se hiciera en el propio país", dice Brundtland. Nadie quería entrar en tema tan espinoso.

La batalla política que se originó le enseñó una importante lección. "Me di cuenta de que mientras habláramos del medio ambiente —lagos ácidos en el sur de Noruega y peces que se mueren a causa de ello— la gente con conciencia ecológica lo interpretaría como una señal de advertencia. Mas otros pensarán: Pero bueno, ¿qué importa que mueran algunos peces en Noruega? Tenemos que incrementar la productividad, y eso es algo con lo que hay que pechar." Se dio cuenta de que la clave era captar la atención de los que tomaban las decisiones eco-



1. Mitigar las consecuencias de la pobreza y de la degradación ambiental son las claves para proteger la salud mundial, según Gro Harlem Brundtland

nómicas y convencerles de que proteger el entorno acababa resultando lucrativo. Su razonamiento inicial era que las compañías podrían obtener beneficios financieros “depurando sus técnicas y elaborando mejores productos” de manera que las fábricas contaminaran menos. Y Brundtland podría señalar algunas fábricas noruegas que, tras instalar sus propios dispositivos para paliar la contaminación, empezaron a ganar dinero vendiéndolos a otras compañías.

El proyecto de aplicar las fuerzas del mercado para promover la conservación de los recursos naturales llamó la atención internacional en 1983, cuando Javier Pérez de Cuéllar, entonces secretario general de la ONU, le encargó la creación y dirección de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo. Competía al nuevo organismo vincular las preocupaciones económicas con las ambientales, una idea que se plasmó en el desarrollo viable. Las recomendaciones formuladas en 1987 por la Comisión incitaron a la ONU a convocar la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, celebrada en 1992; se quería que los gobiernos abordaran el desarrollo económico de forma que pudiera soportarlo el entorno (“ambientalmente sostenible”, según el anglicismo al uso).

Durante los años ochenta y principios de los noventa, Brundtland trabajó con ahínco desde su puesto de primera ministra de Noruega. Tomó posesión en 1981, elegida en buena medida a causa de su popularidad como ministra de medio ambiente. En los 15 años siguientes ocupó, a lo largo de diez, el cargo político más importante de Noruega, centrándose no sólo en las cuestiones ambientales sino también en los derechos de la mujer.

Ahora que han pasado más de 20 años desde que dejó el cargo, Brundtland ha regresado a la medicina. En julio de 1998 comenzó un mandato de 5 años como directora de la OMS, sustituyendo a Hiroshi Nakajima, su impopular predecesor, a quien se le culpa de haber convertido la organización en una burocracia ineficiente e irrelevante. Brundtland ha estilizado la institución, fusionando más de 50 programas (que con frecuencia se ocupaban de una sola enfermedad) en 10 nuevas divisiones de dilatados objetivos, como las enfermedades contagiosas, cambio social y salud mental, así como desarrollo viable y salubridad del medio.



2. “Desterrar la malaria”, un nuevo programa de la OMS, comprende la distribución de mosquiteras, como ésta utilizada en Myanmar (Birmania)

Esta última categoría no es accidental. Torna a habérselas con razonamientos que ya había sopesado antes, particularmente sobre la importancia de los intereses económicos. Igual que aprendiera que con los debates limitados a la degradación ambiental se obtienen escasos resultados de quienes toman decisiones políticas, se dio cuenta de que con la salud rige lo mismo. El repetido principio de que el individuo posee el derecho fundamental a una atención sanitaria básica (“un argumento convincente”, señala Brundtland; la OMS sostiene con firmeza el ideal de la cobertura universal para la atención sanitaria básica), no suele funcionar, especialmente en los países donde, para empezar, los derechos humanos no son respetados, afirma.

Una de sus primeras acciones emprendidas cuando tomó posesión fue la de redoblar la lucha contra la malaria. Según Brundtland, el número de casos de malaria (unos 300 millones al año) ha crecido durante los últimos 10 o 15 años, sobre todo en Africa. (La situación es tan extrema, comenta, que muchos médicos con los que ha departido en Africa le han confiado que en este momento la malaria es un problema más serio que el sida. “Eso ilustra las dimensiones de la malaria, pero también manifiesta que la epidemia de sida aún no ha llegado [en Africa] a su punto álgido”, advierte.) Los costes humanos y sociales de la malaria se pueden comprobar con las muertes, las discapacidades y las aldeas devastadas que deja tras de sí; las consecuencias económicas, quizá no tan patentes para otros, son obvias para Brundtland: “Si en un país no se alcanza cierto nivel de inversión en la salud, se llega a un patrón de mortalidad y morbilidad terribles, que desangran el potencial de crecimiento.”

El Banco Mundial, al parecer, comparte este argumento financiero. Coopera con la OMS en su lucha contra la malaria. Entre los proyectos específicos de su campaña “Desterrar la malaria” se cuenta la cooperación con la UNICEF para distribuir medicinas y mosquiteras. Y con vistas a la posibilidad de llegar un día a erradicar la malaria, la OMS está financiando la investigación en una vacuna.

Brundtland también quiere apresurarse para evitarles a los países en vías de desarrollo (especialmente en algunas zonas de Asia) los problemas de salud causados por el tabaco. Bajo su dirección, la OMS ha aparejado una segunda gran campaña: la Iniciativa por el Fin del Tabaco, diseñada para ayudar a que los países aprueben leyes que controlen la publicidad, venta e impuestos sobre el tabaco.

La idoneidad del desarrollo viable para remediar las pesadillas ambientales ha resultado incierta. Aunque algunas compañías han obtenido beneficios vendiendo, por poner un caso, productos indígenas de las selvas tropicales, otras han quebrado. Reconoce que “queda mucho por hacer, pese al notable avance en la cooperación gubernamental para un desarrollo viable”. ¿Sería demasiado pedir que el mundo se tome en serio la eliminación de la insalubridad, la pobreza y el sufrimiento, como sugirió Brundtland cuando entró en la OMS?

Jonas Gahr Støre, asesor político de Brundtland, señala que ya se gastan en todo el mundo 2,3 billones de dólares en sanidad, dinero que con frecuencia no llega a la gente que más lo necesita. “Aun cuando sólo se disponga de 10 dólares [para gastar] por persona y año, importa mucho cómo se inviertan esos 10 dólares. En un plan de inmunización y asistencia sanitaria primaria, eso puede constituir un gran salto.”

Brundtland cree asimismo que con pequeños pasos pueden prevenirse grandes dolores de cabeza, pues muchos de los problemas actuales están estrechamente entrelazados. “La mayor amenaza contra la salud es la pobreza, que en algunas zonas ha crecido.” Sostiene, además, que la insalubridad misma contribuye a la pobreza. Y por supuesto, la pobreza puede llevar a —o resultar de— la degradación ambiental. “Si se escoge el modelo correcto de desarrollo, se puede atender a la salud, el medio ambiente y la economía”, mantiene.

Técnicas de formación de imágenes

Avances en medicina

Las imágenes de estructuras internas del cuerpo humano obtenidas por resonancia magnética nuclear han revolucionado la medicina. Pero los pulmones y otros órganos no se dejan ver con la claridad que los médicos desearían para diagnosticar y planificar los tratamientos. Se explica así el creciente entusiasmo que suscita un nuevo tipo de formación de imágenes por resonancia magnética, que proporciona exploraciones de alta resolución de los pulmones y permite mejorar las imágenes de cerebro, colon y otros órganos. (La técnica se conoce por las siglas en inglés, MRI.)

Se ha investigado esta técnica en varios centros de los EE.UU. y de Europa. Unos sujetos voluntarios inhalan a pleno pulmón un isótopo raro de helio o de xenón que se ha "hiperpolarizado". Esto implica que una elevada proporción de los núcleos atómicos del gas tienen su "espín" —propiedad magnética de las partículas cuánticas— orientado en la misma dirección. Mientras estos sujetos retienen la respiración durante unos 10 segundos, se les somete a una exploración por la técnica MRI en una máquina especialmente preparada. Por estar hiperpolarizado el gas, la señal MRI es unas 100.000 veces más intensa por núcleo que la que produce el agua, la sustancia que se visualiza normalmente. Al ser tan intensa la señal, los espacios internos pueden observarse con una resolución inaudita.

Ya en 1960 se descubrió que podían polarizarse con láser los núcleos de pequeñas cantidades de helio 3. Más tarde se logró hacer lo mismo con el xenón 129, que era el único isótopo gaseoso también utilizable para este fin. El gas puede mantenerse en estado hiperpolarizado durante horas, siempre que se guarde apartado de sustancias paramagnéticas como el oxígeno. La idea de utilizar gases hiperpolarizados en medicina se atribuye a William Happer y Gordon D. Cates, de la Universidad de Princeton, junto con M. Albert, hoy en el Hospital Brigham and Women's de Boston. La técnica sirve, además, para examinar minerales o materiales esponjosos.

La obtención de gases hiperpolarizados en la cantidad (litros) necesaria para formar imágenes de los pulmones fue el reto afrontado por Magnetic Imaging Technologies Inc. (MITI) de Durham. Esta firma lo consiguió con una máquina del tamaño de una mesa de despacho; la empresa posee licencia exclusiva de Princeton y de la Universidad estatal de Nueva York para comercializar los gases hiperpolarizados en aplicaciones médicas de la técnica de formación de imágenes por resonancia magnética. La compañía colabora con Nycomed Amersham, próxima a Londres, gran consorcio con experiencia internacional en este campo. Los planes de Nycomed incluyen finalmente el suministro de gases en estado hiperpolarizado a los centros de formación de imágenes.

La máquina de MITI utiliza el láser para hiperpolarizar los átomos de rubidio en vapor, un proceso bastante fácil. Dichos átomos de rubidio transfieren después su espín a núcleos de helio o de xenón que van mezclados en el seno del vapor. En la Universidad Johannes Gutenberg, de Maguncia, se emplea una técnica de baja presión que logra niveles de polarización más elevados que el método de MITI, pero opera sólo con helio.

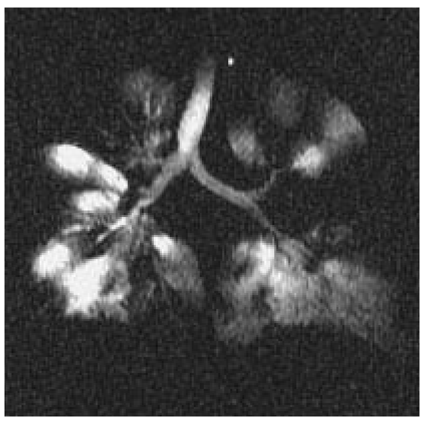
Hasta ahora la mayoría de las imágenes pulmonares se han realizado con helio, que proporciona una señal más intensa que el xenón. En la Universidad de Virginia fueron explorados por esta técnica 16 voluntarios, pudiendo apreciarse las principales divisiones interiores de los pulmones, así como los intersticios por donde fluyen los principales vasos sanguíneos. Se vio claramente que tres pacientes sufrían obstrucción pulmonar crónica: el gas inhalado no podía alcanzar grandes regiones que aparecían como manchas oscuras en la pantalla. Otras exploraciones revelaron también defectos pulmonares no reconocidos y mostraron una patente mejora en un paciente de enfisema al que le habían extraído parte de los pulmones. El cirujano que realizó este "afeitado pulmonar", Thomas M. Daniel, confía en que la nueva técnica





1. Los pulmones humanos se visualizan tras la inhalación de helio 3 hiperpolarizado, lo que permite al ordenador generar vistas diferentes de la superficie de los órganos. Puede verse el espacio ocupado por el corazón





2. Los pulmones sanos visualizados con helio 3 hiperpolarizado (izquierda) *se diferencian de los atacados por la fibrosis quística* (derecha)

le ayudará en el futuro a saber qué partes han de extraerse, cosa todavía problemática.

Los pulmones no son el único órgano al que beneficia la mayor calidad de las imágenes. James R. Brookeman ha utilizado el helio 3 para visualizar el colon de los perros. Si bien un "enema de helio" puede resultar molesto, quizá lo sea menos que las sigmoidoscopias que se aplican rutinariamente a los humanos para detectar el cáncer de colon.

La adquisición de imágenes y otras informaciones a partir de exploraciones con helio 3 progresa. En la Universidad Johannes Gutenberg, el equipo de Hans-Ulrich Kauczor y Ernst W. Otten ha desarrollado técnicas de exploración especiales capaces de detectar la rapidez con que el helio se expande por distintas zonas de los pulmones, con el reforzamiento consiguiente de la capacidad para detectar las enfermedades. Y como el oxígeno hace que el helio hiperpolarizado pierda su espín más aprisa, las comparaciones entre exploraciones realizadas en rápida sucesión pueden acusar cambios en la concentración regional de oxígeno. Esto a su vez debe revelar el flujo sanguíneo local, información valiosa para los médicos. Geneviève Tastevin, del Laboratorio Kastler Brossel del CNRS en París, estudia el uso del helio 3 para obtener imágenes de alta calidad con máquinas de imanes pequeños, lo que debe abaratar los costes y aportar ventajas técnicas. Allan Johnson, de la Universidad Duke, ha utilizado helio hiperpolarizado en alto grado para visualizar en pulmones de animales lo que parecen ser acinos, es decir, grupos de bolsitas de aire de pocas décimas de milímetro de espesor.

Sin embargo, el helio 3 no deja de presentar problemas. Los gobiernos obtienen este gas a partir del tritio expirado que se extrae de las bombas de hidrógeno. Actualmente el gas procede en su mayor parte de Rusia, pero el suministro es limitado y carísimo. (Hay grandes cantidades en la Luna, donde lo deposita el viento solar, pero nadie piensa por ahora ir allá a buscarlo.) En cambio, el xenón 129 es abundante y barato; además, su difusión pausada se traduce finalmente en imágenes más nítidas. Se disuelve en la sangre y, pese a estar clasificado como gas inerte, el xenón interacciona con sustancias químicas biológicas.

Cuando el xenón 129 se adhiere a sustancias químicas corporales cambian sus resonancias, indica Ronald Walsworth, del Centro Smithsoniano de Astrofísica de Harvard. Por ello se puede predisponer una máquina MRI para representar, e incluso despolarizar, el xenón en determinados entornos, de tal modo que puedan rastrearse sus movimientos y asociaciones químicas. El xenón hiperpolarizado se mantiene estable en la sangre durante unas decenas de segundos, tiempo suficiente para tomar imágenes de su transporte al cerebro y distinguir allí la materia blanca de la materia gris; el xenón atraviesa la barrera hematoencefálica (con efecto anestésico y euforizante). Aun cuando el xenón es más difícil de hiperpolarizar y almacenar que el helio, parece que Nycomed intenta elevar la formación de imágenes con xenón al mismo nivel de refinamiento que las realizadas con helio. De ese modo la medicina se enriquecería con un nuevo e interesante instrumento.

TIM BEARDSLEY

Biología molecular

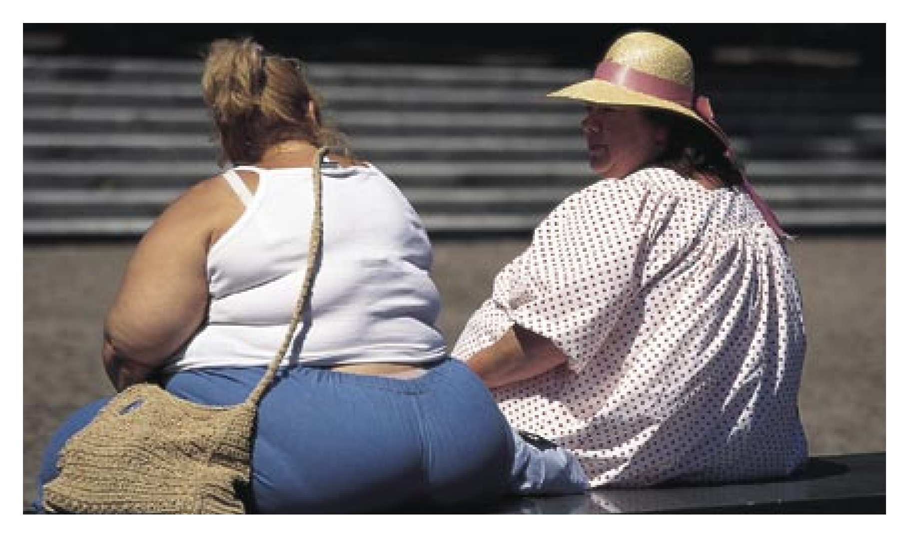
¿Un interruptor de la diabetes?

La idea de que con una píldora nos sea permitido saciarnos en una comida rica en grasas sin ganar peso —y, al propio tiempo, controlar la diabetes de tipo II— pertenece al reino de los sueños. Una investigación publicada el pasado marzo, sin embargo, respalda la apreciación de que ese fármaco podría haber descendido un peldaño y pasado del mundo onírico al reino de la fantasía científica. Quizás inverosímil, a buen seguro difícil, pero posible en principio.

Ratones que gracias a la ingeniería genética ganan sólo la mitad de peso que sus compañeros de camada no alterados, aunque se alimenten con la misma comida rica en grasas, corretean por el laboratorio del grupo encabezado por Brian P. Kennedy en el Centro Merck Frosst para Investigación Terapéutica en Kirland, Quebec. Tras una de esas comidas rica en calorías, los ratones mutantes se desenvuelven con normalidad, mientras que sus hermanos, más gordos, padecen unos niveles de azúcar en sangre propios de la diabetes del adulto, o tipo II. La diferencia entre los dos grupos de ratones estriba en un solo gen, que cifra la enzima fosfatasa-1B de las tirosinas de proteína (PTP-1B). Los roedores enfermos y gordos tienen PTP-1B; los mutantes sanos no.

La investigación ofrece un doble interés. Por un lado, llama la atención que una ausencia de PTP-1B proteja contra la obesidad, confiesa Barbara C. Hansen, directora del Centro de Investigación de la Obesidad y la Diabetes de la Universidad de Maryland. Muchos hubieran esperado lo contrario, a juzgar por los conocimientos sobre PTP-1B adquiridos a lo largo de los últimos diez años.

La enzima está presente en células de todo el cuerpo. Según Kennedy, en células musculares y hepáticas "operan a la manera de un interruptor" que controla la duración de la inducción que la insulina ejerce sobre las células en la extracción de azúcar de la sangre. "El engarce de la insulina a su receptor en la superficie celular hace que la parte del receptor que se encuentra en el interior de la célula cambie de forma", continúa. Se inicia entonces una reacción en cadena en la cual fosfatos y proteínas se agregan y se hienden las membranas



La obesidad y la diabetes son dos condiciones que van asidas de la mano. Ahora estudios realizados en ratones abonan la idea de que puede haber una nueva vía en la prevención de ambas

celulares para recibir el azúcar del torrente circulatorio. En la diabetes de tipo II, estas células se resisten a la inducción de la insulina; un exceso de azúcar permanece en la sangre y no entra el suficiente para aprovisionar las células.

"Creemos que PTP-1B arranca los fosfatos de un receptor activo", con lo que cesa el efecto de la insulina tras cierto lapso de tiempo, dice Kennedy. Por ello los ratones a los que se les ha eliminado PTP-1B son mucho más sensibles a la insulina, ya que carecen de un recurso esencial para suprimir la señal. "Pero si esto aumenta la sensibilidad a la insulina para introducir glucosa dentro de las células, debería incrementar la obesidad", apunta Hansen. El principio activo más reciente para el tratamiento de la diabetes tipo II, la troglitazona, tiene sólo "un efecto muy modesto" sobre la reversión de la resistencia a insulina y provoca ganancia de peso con frecuencia.

¿Qué hacen los ratones mutantes con las calorías extra, si no es almacenar grasas? Según Kennedy ciertos experimentos, todavía inéditos, confirman que "queman más calorías". En ese caso, habría un camino nuevo para combatir la obesidad: suprimir la producción corporal de PTP-1B.

La segunda revelación importante del experimento fue que los ratones mutantes se mostraban saludables y tenían una vida larga, pese a carecer de PTP-1B. Con ello se plantea la posibilidad de un fármaco que resultara más seguro que los fármacos contra la obesidad y la diabetes existentes hoy en día.

Así, aunque los ensayos clínicos mostraron que el medicamento antidiabético troglitazona es seguro, la Administración de Fármacos y Alimentos de Estados Unidos (FDA) estima que desde que se autorizó su comercialización en 1997 y se prescribió a más de 1,6 millones de pacientes norteamericanos, se han producido 26 muertes y nueve trasplantes hepáticos forzados por la acción del fármaco, a buen seguro. A finales de marzo un comité de expertos nombrados por la FDA recomendó que los diabéticos no confiaran en la troglitazona solamente y que se sometiesen a pruebas hepáticas sistemáticas mientras lo tomasen.

Un fármaco que inhibiese PTP-1B actuaría de forma diferente. Pero no será fácil hallar un fármaco que bloquee la PTP-1B y no otras fosfatasas de las tirosinas de proteína. Se cree que el genoma humano determina unas 100 de esas enzimas, cada una de las cuales se distingue ligeramente de las otras en punto a características químicas y ampliamente en lo concerniente a la función asignada.

W. WAYT GIBBS

Antigravedad

Esa molesta mosca

Si el lector abrió conmigo el número del 20 de marzo del *British Medical Journal* disfrutaría con el contenido de la carta que llevaba por título "Utilidad de las larvas de insecto para tratar heridas infectadas o necróticas". El poder curativo les viene de un hábito de las futuras moscas: masticar tejidos infectados o necrosados y evitar los que están sanos. En la carta se aludía a su posible uso para luchar contra las bacterias devoradoras de carne que hayan desarrollado resistencia contra los antibióticos.

Muchos de los pacientes preferirían echarse sal en las heridas antes que larvas. Quizá se ignore que las larvas ocupan desde hace tiempo un lugar destacado en medicina militar. En 1983 la revista *Plastic and Reconstructive Surgery* publicó "Terapia de larvas: la metamorfosis quirúrgica". En este cuidado artículo, Edward A. Pechter y Ronald A. Sherman explican que los relatos sobre capacidad de las larvas para desbridar heridas se remontan a cinco siglos atrás. Muchas de las primeras observaciones provienen de terribles escenarios bélicos como los que pintaba el Bosco, donde los soldados heridos yacían en tierra el tiempo suficiente para que las moscas depositaran huevos en sus llagas.



"Déjenme que les hable de nuestro plato especial: un tejido infectado."

Fue un médico de Baltimore, William S. Baer, quien en los años veinte realizó los primeros estudios serios sobre los efectos terapéuticos de las larvas en las heridas. Despertó su curiosidad el caso de dos soldados de la Gran Guerra, abandonados toda una semana en el campo de batalla con graves heridas en el abdomen y las piernas rotas, que al parecer hubieran muerto de no ser por la acción de las larvas. En 1931 comunicó haber logrado éxito en la aplicación de larvas a docenas de casos de osteomielitis, devastadora infección ósea. A Baer no le importaba hablar del tratamiento con

larvas, pero muchos reconocían que sonaba muy mal a oídos profanos. Sin embargo en los años cuarenta se siguieron tratando con larvas los abscesos, quemaduras, úlceras en las piernas y gangrenas, hasta que se impuso un sentimiento de repugnancia ante la visión de masas de insectos reptantes devorando la propia carne necrosada.

Y ha sido una lástima. Sobre todo porque esta agitación reptante de los bichos puede formar parte de la terapia: ciertos investigadores creen que el constante movimiento de los diminutos masticadores estimula el crecimiento de tejido fresco y sano. Tal vez las larvas liberen por su cuenta agentes antibacterianos. Si no fuese tan repugnante la idea de verles comer carne infectada, estos bichejos podrían ser un producto usual en anaqueles de medicamentos de todo el país. (Pero si uno los encuentra en el armario de su casa, no dudará un momento en tirarlos.)

STEVE MIRSKY

Arqueología

Redescubrimientos del Nuevo Mundo

Más o menos cuando Cristóbal Colón pisaba tierra caribe, los incas realizaron el sacrificio ritual de dos chicas y un chico en la cima de un volcán extinguido del norte de Argentina, el monte Llullaillaco, a 6723 metros de altura. Una expedición patrocinada por la Sociedad Geográfica Nacional comunicó en marzo que había desenterrado las tres víctimas momificadas, rodeadas de estatuas, tapices y cacharros. Cinco siglos de permafrost habían dejado a las momias en un estado de asombrosa conservación. El equipo conjunto estadounidense-argentino-peruano encontró sangre en los corazones y pulmones de dos de ellas; algunos de sus órganos internos estaban intactos. Las uñas y los cabellos de los brazos tampoco habían degenerado. El examen de los cadáveres podría ensanchar el conocimiento de las enfermedades existentes en el imperio inca y los lazos entre los incas y otras poblaciones. Puede también que gracias a las momias los antropólogos sepan más de *capac cocha*, los sacrificios rituales de niños entre los incas.



—Gary Stix



Niño inca momificado

Magnetismo

A partir de los vapores de hierro

Los primeros creadores de materiales nanométricos fueron los descubridores del fuego y, con él, del humo acompañante. Pero, evidentemente, lo ignoraban. Al recoger en un punto frío el hollín que se desprende de la combustión de materia vegetal, reconocemos los agregados de partículas de grafito nanométricas, generadas por condensación a partir de la fase gaseosa.

En un horno solar se han sintetizado las nanopartículas más pequeñas jamás obtenidas de maghemita, o γ-Fe_2O_3, material de interés industrial por su uso común en grabación magnética de discos de ordenador o en cintas magnéticas. La investigación en ese óxido de hierro ha sido llevada a cabo por miembros del Laboratorio del CNRS de Odeillo en el Pirineo francés y el Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona del CSIC.

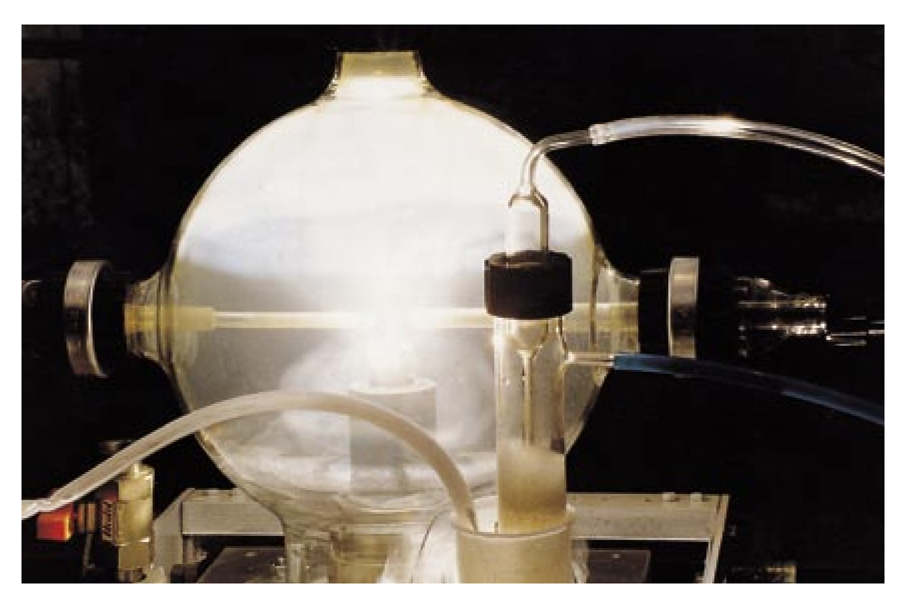
Las nanopartículas de maghemita se formaron colocando polvo de hierro oxidado en el foco de un horno solar construido con un espejo cóncavo de unos 2 metros de diámetro. Con este sencillo procedimiento se alcanzan temperaturas de hasta 3000 ºC. El hierro funde y se genera cierta sublimación, que se pone de manifiesto con el humo desprendido de la superficie del material situado en el foco.

Después de la sublimación del hierro, se produce la condensación de partículas cristalinas que se transportan por la propia convección hasta la pared fría de un recipiente de vidrio. Controlando la atmósfera interior del recipiente en el que se produce la evaporación se puede sintetizar nanopartículas de óxido de hierro de extrema calidad cristalina y pureza superficial, cuyas dimensiones no sobrepasan los 7 nanómetros de diámetro por 3 nm de grosor. Y lo que encierra mayor interés magnético, la fase cristalina generada resulta ser la que posee un comportamiento ferrimagnético, es decir, la maghemita o γ-Fe_2O_3.

¿Difiere el comportamiento magnético de las superficies respecto de lo que se observa en cristales de grandes dimensiones? Debido a sus reducidísimas dimensiones, en las partículas de γ-Fe_2O_3 sintetizadas los efectos de superficie adquieren gran importancia.

En física, ante la pregunta de si los momentos magnéticos localizados en los átomos de la superficie pueden sufrir cierto desorden tras la ruptura del precario equilibrio existente entre interacciones magnéticas competitivas, se responde que en la superficie de las partículas magnéticas se genera “un vidrio de espín”, es decir, una fase magnética que se caracteriza por la existencia simultánea de frustración magnética y desorden.

¿Qué tiene eso que ver con nuestros hallazgos? El equipo de investigación de Barcelona ha comprobado que las partículas nanométricas están constituidas de un núcleo de momentos magnéticos que se comportan de la forma esperada. Pero han descubierto más. Tales partículas poseen una corteza con momentos magnéticos que se relajan a altas temperaturas debido a la propia agitación térmica que vence a las interacciones magnéticas; mas, a una temperatura bien determinada, los momentos magnéticos superficiales se congelan bruscamente y apuntan en direcciones aleatorias, sin correlación con las del corazón de la partícula. Esta segunda fase posee todos los atributos de un vidrio de espín, fa-

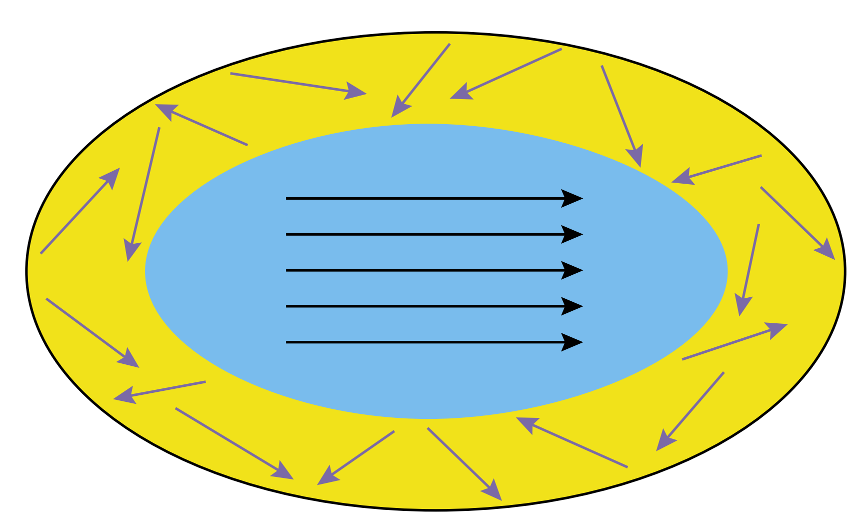


1. Fotografía del horno de evaporación donde se muestra el material a evaporar, situado en el foco del espejo donde se concentra la luz solar, encerrado en el interior del recipiente de vidrio sobre cuyas paredes se depositan las nanopartículas de óxido de hierro

ses confirmadas con anterioridad en materiales amorfos, carentes de orden cristalino.

Apoyamos nuestra tesis en varias pruebas experimentales. En primer lugar, la aparición de un desplazamiento de los ciclos de histéresis; tales bucles acostumbran manifestarse en el origen de campos magnéticos. ¿Por qué ese desplazamiento, pues? Porque si enfriamos el material con un campo magnético aplicado, los momentos magnéticos de la superficie se bloquean apuntando en la dirección del campo magnético. Pese a que invirtamos la dirección del campo mediante un ciclo de histéresis, el sistema guarda cierta memoria y se sigue produciendo una relajación de la orientación prefijada de los momentos magnéticos superficiales.

Los dos subsistemas, la superficie y el corazón de las nanopartículas, poseen una dinámica independiente. A parecida conclusión arribó otro grupo de investigación de París, que empleó la difusión inelástica de neutrones para estudiar la dinámica de los espines. Mediante esa técnica puede abordarse la relajación de los espines de la superficie y del corazón, cuya aplicación ha permitido establecer la independencia física entre ambos subsistemas magnéticos.



2. Representación esquemática de una nanopartícula donde se indica el corazón de la partícula magnéticamente ordenado, en color azul, y la capa superficial con los momentos magnéticos apuntando en direcciones aleatorias

Las nuevas ideas sobre el comportamiento magnético superficial obligarán a replantearse el problema de la grabación magnética y el de la magnetorresistencia gigante. En los materiales magnetorresistivos hacemos uso de las resistencias eléctricas que aparecen en las interfases cuando los momentos magnéticos se encuentran en una configuración paralela o antiparalela.

Si en las superficies e interfases existen momentos magnéticos que se encuentran desordenados habrá que hacer frente a una limitación fundamental. Será entonces obligado un estudio exhaustivo de los estados magnéticos superficiales, igual que en los semiconductores fue preciso tener en cuenta los estados electrónicos superficiales para comprender los fenómenos de transporte en diodos o transistores.

Xavier Obradors,
Benjamín Martínez
y Claude Monty
Instituto de Ciencia de Materiales
de Barcelona
Laboratorio Europeo Asociado

Instituciones del estado moderno

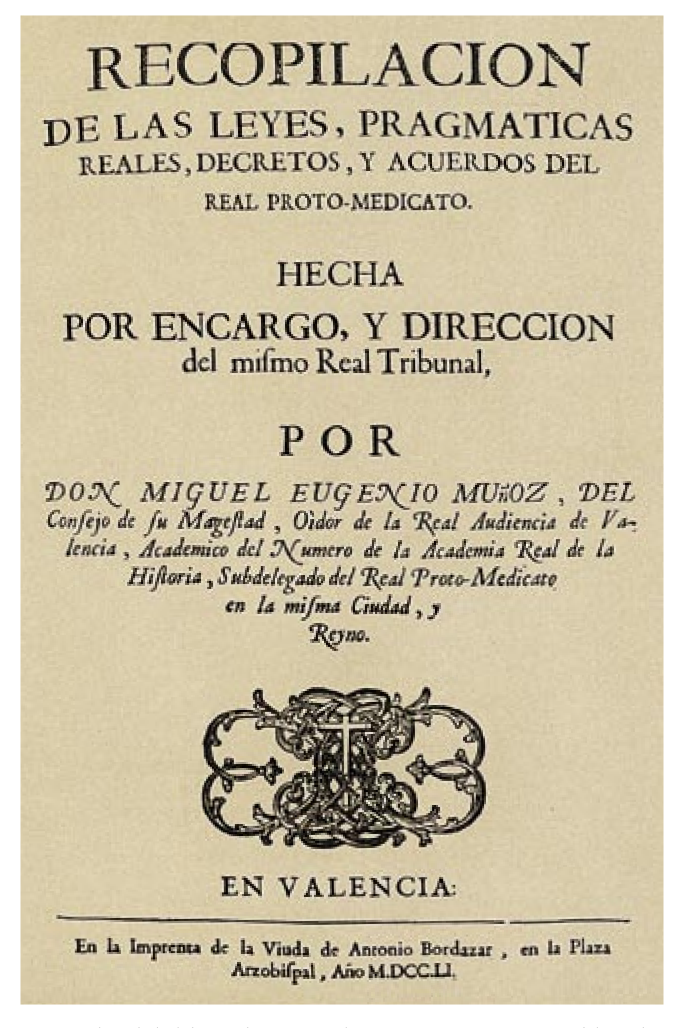
El Protomedicato

La creación del Tribunal del Protomedicato durante el reinado de los Reyes Católicos, con su posterior desarrollo a lo largo del siglo XVI, debe entenderse dentro del proceso de formación del estado moderno; más concretamente, en el contexto de la ampliación de los fines de la organización administrativa, cuando la política sanitaria y el control del ejercicio profesional comenzaron a ser actividades estatales por excelencia.

¿De qué entendía el Tribunal del Protomedicato? De acuerdo con la ley, le competía autorizar y controlar el ejercicio de determinadas profesiones y ocupaciones sanitarias, creando un complicado aparato burocrático para ello. La monarquía hispánica era de una extraordinaria complejidad institucional. El control del ejercicio de las profesiones y ocupaciones sanitarias se ejerció de forma muy diferente en cada

ámbito, a tenor de sus características políticas y de la capacidad de maniobra del monarca. En un principio el Tribunal limitaba su actuación a Castilla. No se implantó en la Corona de Aragón hasta el siglo XVIII.

Se acepta por lo común que la Pragmática dada por los Reyes Católicos en 1477, dirigida a los “alcaldes examinadores mayores”, constituye el acta fundacional de la institución. Por ella se constituía un tribunal compuesto por tres alcaldes examinadores cuyas funciones eran “examinar los físicos, y cirujanos, y ensalmadores, y boticarios, y especieros, y hervolarios, y otras personas que en todo o en parte usaren de estos oficios, y en oficios a ellos y a cada uno de ellos anexo y connexo, ansi hombres como mugeres, de qualquier ley, estado, preheminencia, y dignidad que sean; para que si los hallaren idoneos, y pertenecientes, les den cartas de examen, y aprobación, y licencia para que usen de los dichos oficios libre y desembargadamente, sin pena, ni calumnia alguna, y que los que hallaren que no son tales para poder usar de los dichos oficios, o de alguno de ellos, los manden, y defiendan, que no usen de ellos”.


RECOPILACION
DE LAS LEYES, PRAGMATICAS
REALES, DECRETOS, Y ACUERDOS DEL
REAL PROTO-MEDICATO.

HECHA
POR ENCARGO, Y DIRECCION
del mismo Real Tribunal,

POR
DON MIGUEL EUGENIO MUÑOZ, DEL
Consejo de su Magestad, Oidor de la Real Audiencia de Valencia, Academico del Numero de la Academia Real de la Historia, Subdelegado del Real Proto-Medicato en la misma Ciudad, y Reyno.

EN VALENCIA:

En la Imprenta de la Viuda de Antonio Bordazar, en la Plaza Arzobispal, Año M.DCC.LI.

Portada del libro de Miguel Eugenio Muñoz, publicado en Valencia en 1751, donde además de recogerse toda la legislación sobre el Protomedicato desde su establecimiento, puede considerarse el primer tratado histórico sobre el mismo

La organización definitiva como tribunal del Protomedicato tuvo lugar en el reinado de Felipe II. Por las pragmáticas de 1588 y 1593 el tribunal quedó constituido por tres protomédicos y tres examinadores, ayudados por un asesor, un fiscal, un escribano, un secretario, alguaciles y porteros, además de un cirujano y un boticario que estaban presentes en los exámenes de su oficio. En estas pragmáticas se dictaban un conjunto de normas que regulaban minuciosamente la actividad y funciones de la institución. Reflejaban las protestas y críticas llevadas a cabo en las sucesivas convocatorias a Cortes en Castilla sobre diferentes aspectos de la actuación del Protomedicato y preveían las soluciones.

En su configuración definitiva nos hallamos ante un tribunal colegiado y supremo, de carácter técnico, cuya función básica fue controlar el ejercicio de las profesiones y ocupaciones sanitarias en Castilla. Su jurisdicción abarcaba cinco leguas alrededor de la Corte. Más allá de ese límite su eficacia decaía, debilidad de la que se aprovechaban las justicias municipales.

La jurisdicción y competencias del Tribunal del Protomedicato cambiaron con el tiempo, aunque comprendieron siempre todos los asuntos concernientes a las personas relacionadas con la salud de la población, tanto en el aspecto administrativo como judicial. En primer lugar, debía examinar y conceder licencias de ejercicio a los médicos, cirujanos y boticarios, los cuales, al menos teóricamente, para poder ejercer en Castilla en esta época debían pasar un examen del Protomedicato.

Durante algunos períodos debían superar un examen ante sus oficiales que trabajaban como especieros, herbolarios, ensalmadores y matronas. Los aspirantes debían acudir a la Corte para realizar las pruebas. Allí se les concedía por escrito la licencia para ejercer. La pena impuesta por practicar sin licencia era de 3000 maravedíes, que fue aumentada, dada la inflación, a 6000 en 1588. También se concedieron licencias por las que autorizaba a realizar legalmente determinadas curaciones de carácter empírico; era lo que se denominaba en época los “casos particulares”, esto es “cataratas, tiña, carnúnculas, algebristas y hernistas, y a los que sacan piedras”. De este modo, se sometió a control del Tribunal no sólo el ejercicio de las profesiones y ocupaciones sanitarias, sino también la práctica de cualquier tipo de recurso empírico terapéutico por personas no adscritas a ninguno de estos grupos.

Competía al Protomedicato el control del ejercicio de las profesiones y ocupaciones sanitarias. Las personas implicadas en tales actividades quedaban sometidas a la jurisdicción civil y criminal del Protomedicato, para que en caso de delito “puedan hacer justicia en sus personas y bienes”. También se ocupaba de perseguir y castigar el intrusismo, especialmente el ejecutado con “artes mágicas” (en la pragmática de 1477 se especificó que se castigase a los que usasen ensalmos, conjuros y encantamientos), pero de igual modo el ejercicio de la medicina con procedimientos empíricos o científicos, aunque sin el pertinente título y autorización. Por último, en esta misma línea de control de la actividad profesional, se ocupó de la visita a las boticas y a tiendas donde se vendieran medicamentos o especias, tarea que siempre compartió con las autoridades locales.

MARÍA LUZ LÓPEZ TERRADA
Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación “López Piñero”, U. de Valencia, C.S.I.C.

Texto y fotos: Rafel Coma y Josep-Maria Gili

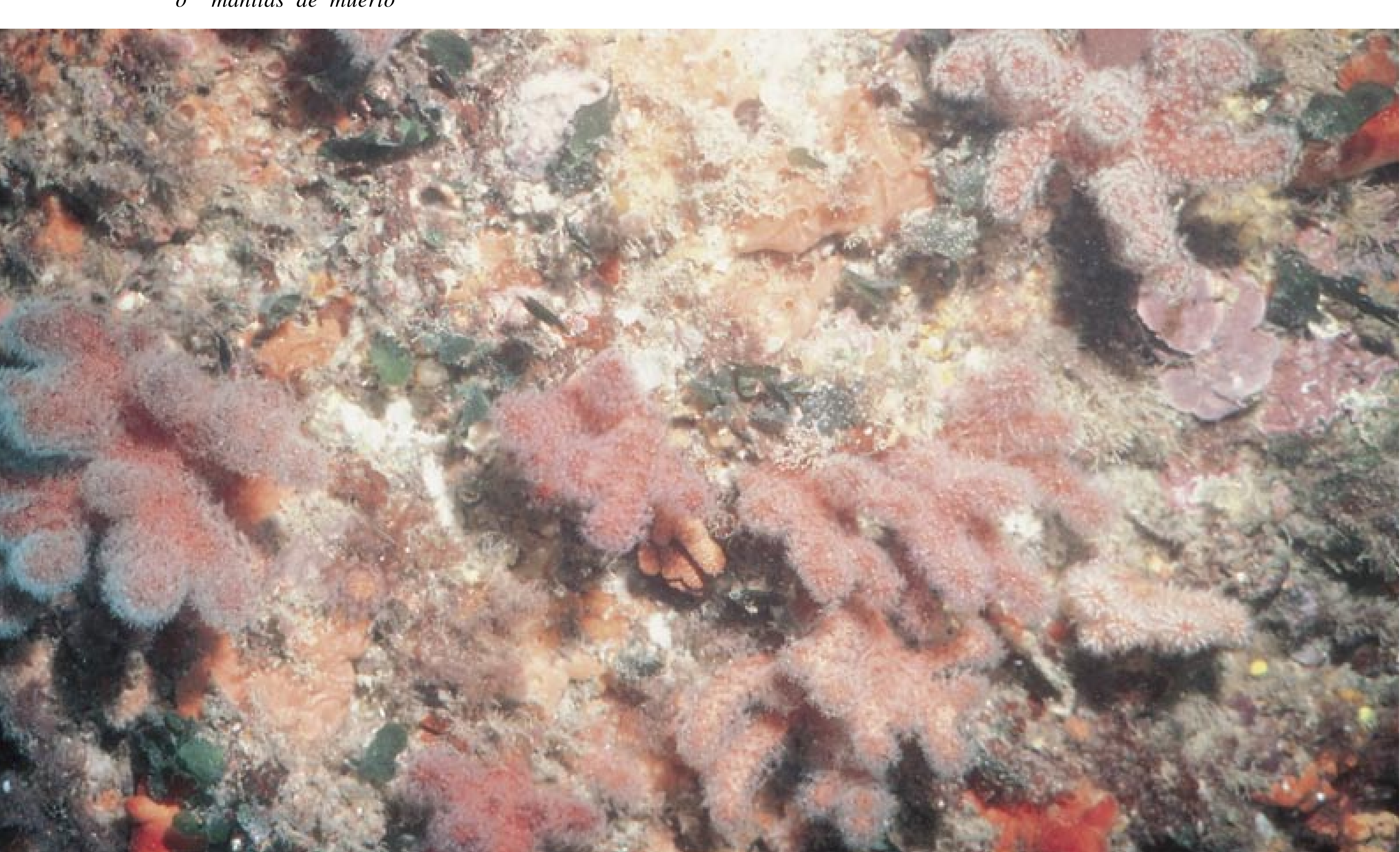
Juntos y bien avenidos

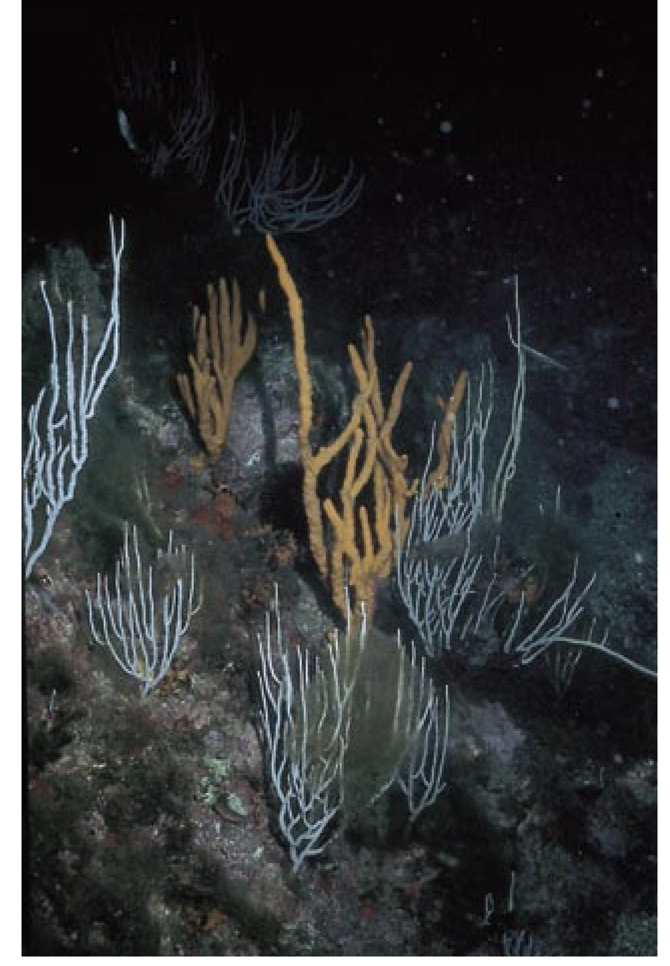
Una de las sorpresas que le esperan al buceador que se asoma a la vida bentónica de substrato rocoso es la concentración de colonias o individuos de una misma especie en una zona. Son bastantes los grupos de invertebrados que tienden a instalarse allí donde las condiciones del medio les son más favorables. Pero no ocurre siempre así. Hay zonas de condiciones que se dirían óptimas y, sin embargo, quedan sin "colonizar".

Desde hace tiempo, los investigadores se han esforzado por resolver la paradoja que representa la distribución de los organismos sésiles. Cierto es que lo habitual entre los organismos móviles —lo mismo del plancton que los peces— es la vida en grupo. Para dar cuenta de ese comportamiento se apela a las ventajas defensivas que reporta, a la búsqueda de alimento y a una reproducción más segura. Aspectos positivos que podemos extender a las concentraciones de organismos sésiles.

Parece que el éxito reproductor tiene mucho que ver en la formación de poblaciones apretadas. La de cnidarios, por ejemplo, uno de los grupos principales de las comunidades de suspensívoros. En éstos los pólipos masculinos están en colonias masculinas y los femeninos en colonias femeninas. No muy lejos unos de otros, pues las colonias masculinas liberan los gametos al medio, que deben ser captados por las colonias femeninas como si fuesen presas. En algunas especies, para evitar que los huevos (embriones) se alejen de las colonias progenitoras, los huevos fecundados se desarrollan retenidos en la superficie de las colonias femeninas. Las larvas se desprenden de las colonias madre y, tras unos minutos de natación, terminan por aposentarse cerca de las colonias progenitoras dando lugar al primer pólipo.

1. Pared rocosa a unos 15 metros de profundidad con un cinturón del alcionario Alcyonium acaule, *o "manitas de muerto"*

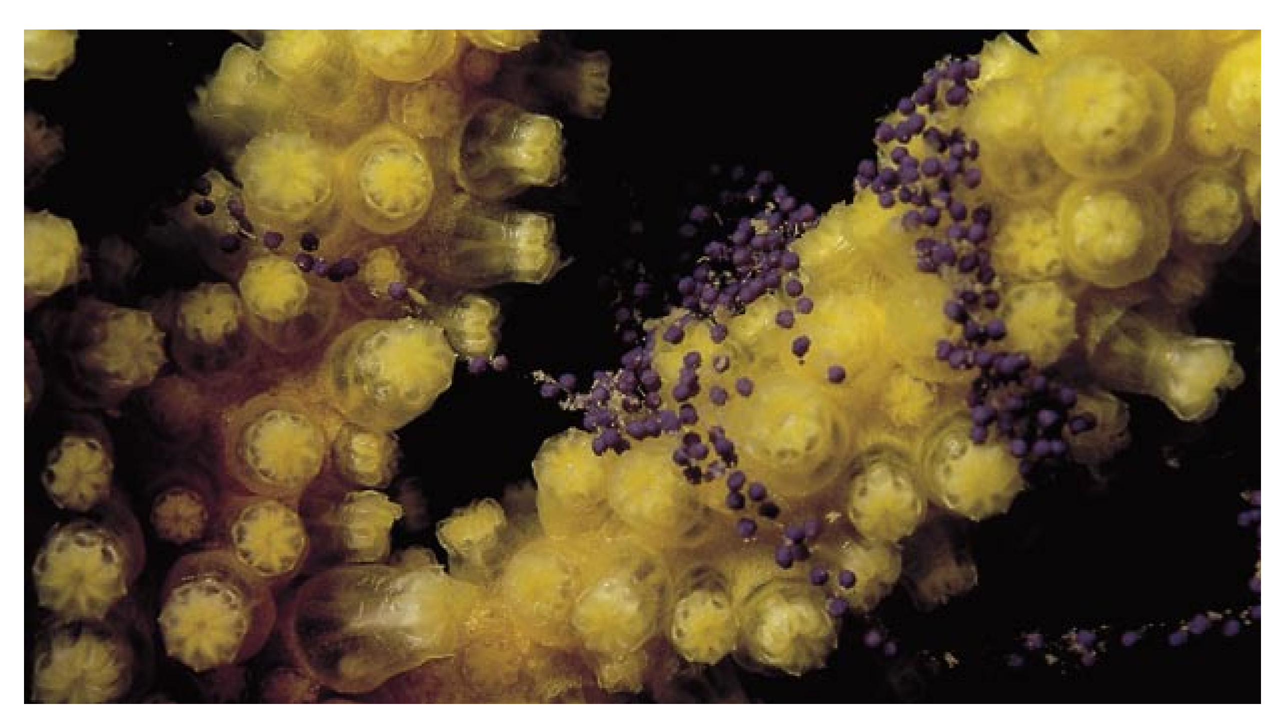




2. Pradera de gorgonias blancas, Eunicella singularis, *a unos 20 metros de profundidad, mezclada con otra pradera de* Axinella damicornis, *una esponja*

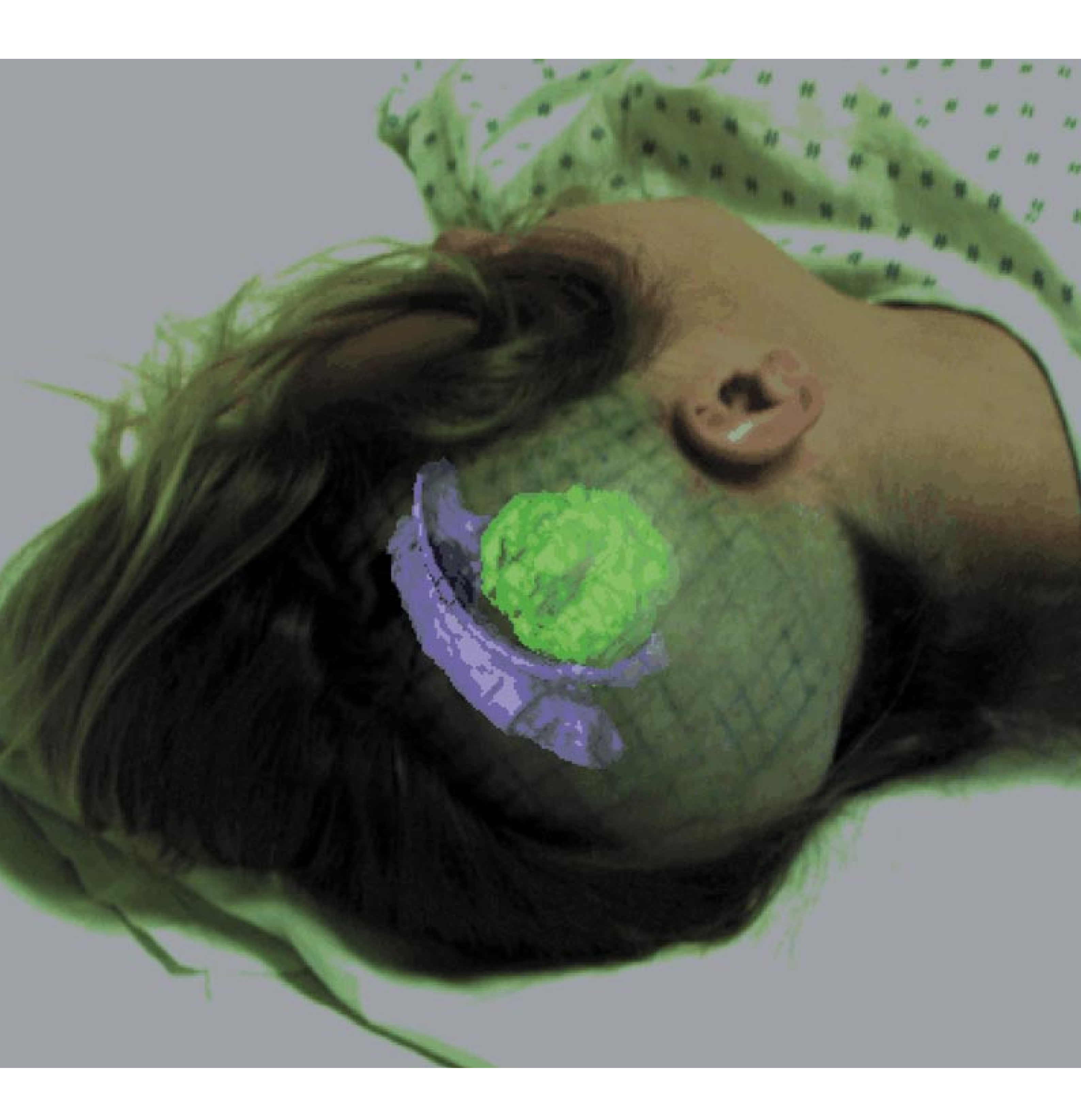


3. Colonia de la gorgonia Paramuricea clava *en la que se puede apreciar* (violeta) *la presencia de grupos de huevos recién liberados y retenidos en la superficie de las ramificaciones*



4. Detalle de un colonia de gorgonia Paramuricea clavata *donde se observan los huevos fecundados en proceso de división, poco antes de ser liberados en estadio de larva*

Cirugía guiada por imágenes



Mediante técnicas de realidad virtual, que aportan medios equivalentes a la visión por rayos X, el cirujano extirpa tumores sin dañar los tejidos circundantes

W. Eric L. Grimson, Ron Kikinis, Ferenc A. Jolesz y Peter McL. Black



En el quirófano se va a intervenir a una mujer joven para extirparle un tumor cerebral que le produce ataques casi diarios. Operación que debe librarla de esa amenaza letal, aunque entraña el máximo riesgo. El tumor oprime la corteza motora del cerebro, una franja de tejido que controla los movimientos voluntarios. Y el caso es que a simple vista tumor y corteza se confunden. Dejar parte del tumor posibilita su reproducción, pero arrancar un trozo de corteza cerebral conlleva un peligro cierto de parálisis.

Si el neurocirujano se ha prestado a operar es porque dispone de unos extraordinarios instrumentos concebidos para multiplicar su probabilidad de éxito. En un ángulo de la sala, contempla un monitor que exhibe una réplica tridimensional informatizada de la cabeza de la paciente, modelo que se ha construido anteriormente a partir de imágenes obtenidas por resonancia magnética no agresiva.

Girando el modelo podrá conseguir una visión similar a la que tendrá en el curso de la operación. Después, con simples toques del ratón del ordenador, levantará piel, grasa y huesos dejando el cerebro al descubierto. Resaltados en diversos colores aparecen tumor, vasos sanguíneos y corteza motora, entre los rasgos de interés. Viendo que, además de limitar con la corteza cerebral, el tumor está muy próximo a vasos sanguíneos cruciales, el cirujano diseña su plan para alcanzar y extraer el tumor de tal manera que se elimine toda huella del mismo y sea mínimo el riesgo de hemorragias y parálisis.



1. EL TUMOR CEREBRAL (*en verde, a la izquierda*) de esta mujer aparece ante el cirujano que va a operarla en una pantalla que combina imágenes de vídeo en directo con un modelo tridimensional informatizado del cerebro de la paciente. Al operar dentro de un aparato especial de formación de imágenes por resonancia magnética (*arriba*), los modelos construidos antes de la intervención pueden complementarse con nuevas exploraciones que revelan si los tejidos se han apartado de su posición original. Los modelos tridimensionales y las exploraciones por escáner en tiempo real guían con mayor seguridad a los médicos para alcanzar sus objetivos quirúrgicos, y en su caso extirpar los tumores de un modo mucho más exhaustivo.

Una vez fijada la estrategia, se dirige a la paciente. Esta no yace en una mesa de operaciones normal, sino en una plataforma integrada en un avanzado sistema de formación de imágenes por resonancia magnética (MRI, de sus siglas en inglés), que proporcionará imágenes del cerebro durante la intervención. Una máquina MRI consta de un gran cilindro hueco, en cuyo interior es introducido el sujeto explorado. En este nuevo sistema, el cilindro —un imán— se ha seccionado en dos partes, semejantes a rosquillas, separadas entre sí. La mesa de operaciones se extiende entre los dos "ojos de las rosquillas". Con esta disposición el médico puede operar situado entre ambos imanes.

Instalado ya en ese sitio intermedio, el cirujano baja una pantalla donde se va representando el mismo modelo que ha contemplado antes, pero ahora se fusiona con una imagen de vídeo obtenida en directo de la paciente. La imagen combinada concuerda totalmente con la perspectiva de la cabeza desde la posición del cirujano. Es como si éste viera "por rayos X", localizando las estructuras internas incluso antes de empuñar el bisturí. Guiado por la imagen directa en vídeo, marca con una pluma, sobre el cuero cabelludo de la enferma, las posiciones del tumor y de otras estructuras seleccionadas. Delimita el marco de la ventana a abrir en el cráneo para acceder al tumor. Mirando ahora a la paciente, comenzará la incisión.

Mientras está operando, comprueba una y otra vez su posición y trayectoria exacta introduciendo en el fondo de la incisión una sonda estéril de traza. Con una rápida ojeada al monitor sabrá dónde se halla la sonda con relación a las estructuras —de otro modo invisibles— que subyacen a la pequeña zona expuesta. Con ello determina si el curso es correcto y, probablemente, si se mantiene a una distancia prudente de la corteza motora y los vasos sanguíneos.

Solicita con rutinaria repetición nuevas exploraciones por MRI en el sitio marcado por la sonda. Las imágenes que aparecen a los pocos segundos se superponen sobre el modelo prequirúrgico; de ese modo, el cirujano compara las posiciones del tumor y otros tejidos de interés antes de la operación con las actuales, a fin de descubrir cualquier desplazamiento o deformación que deba tenerse en cuenta. Además, merced a estas imágenes puede localizar residuos del tumor que quedarían sin extirpar.

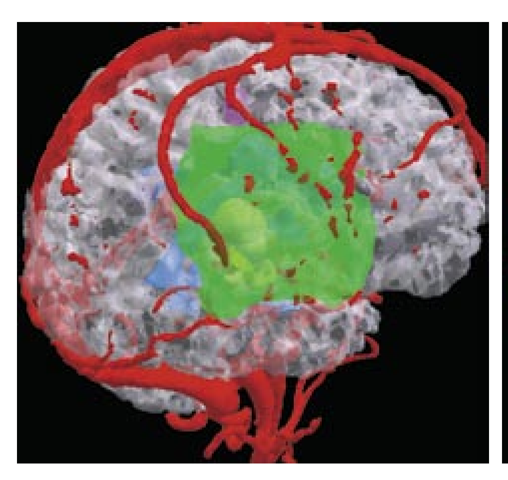
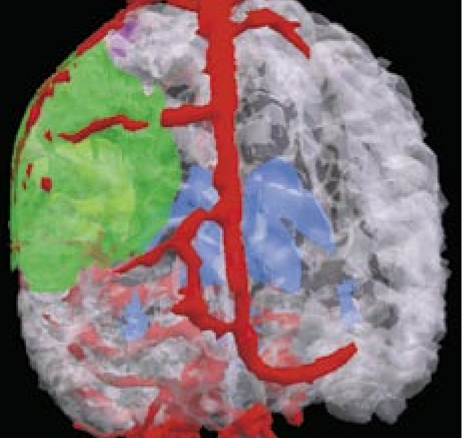
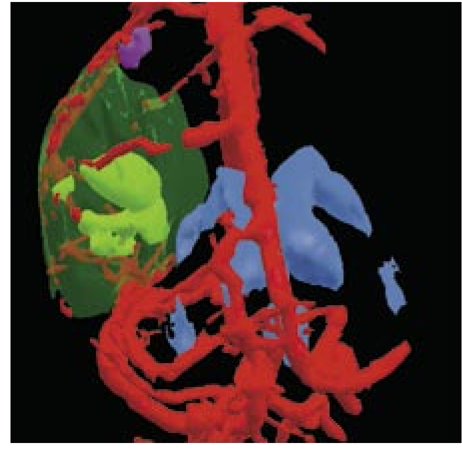
Orientado con tamaña información, el cirujano extirpa el tumor sin rozar la corteza motora ni los vasos sanguíneos. Días más tarde, la paciente saldrá del hospital, cansada pero dispuesta a emprender una nueva vida.

La narración anterior no es ningún relato literario. Describe un hecho real. Existe ya ese tratamiento. En los tres últimos años nuestro equipo quirúrgico del Hospital Brigham and Women's de Boston ha operado a unos 300 individuos por esta refinada neurocirugía guiada por imágenes en una máquina MRI de "doble rosquilla" o de imán abierto.

El sistema que funciona en el Brigham and Women's compendia el esfuerzo de mucha gente. El imán abierto fue desarrollado por el programa de terapias de guía por imagen de este hospital y los Sistemas Médicos de General Electric; ambos grupos cooperaron con el laboratorio de inteligencia artificial del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en la concepción del sistema de guía por imágenes. En el MIT se integraron las técnicas de modelación y formación de imágenes. Otros sistemas de este tipo, también muy refinados, se utilizan en centros de los Estados Unidos y Europa y prestan valiosa ayuda en problemas quirúrgicos. Sin la menor duda, todos estos tratamientos están revolucionando la cirugía.

Al potenciar la visión del cirujano, la intervención guiada por imágenes permite que el paciente reciba una atención eficacísima. Si nos ocupamos de un tumor, las imágenes formadas facilitan la identificación de sus límites y de los caminos más seguros y menos agresivos para llegar al mismo (procesos de localización y fijación de blanco). Y lo principal: dan más recursos al facultativo para extraer de raíz tumores curables y

2. LAS EXPLORACIONES EN SERIE que se ejecutan mediante la técnica de formación de imágenes por resonancia magnética son la materia prima para elaborar modelos tridimensionales de la anatomía interna de un paciente. Para ello el ordenador combina las distintas imágenes en un todo coherente.

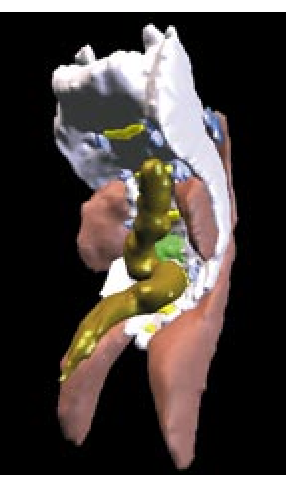




extirpar a fondo cánceres que por su propagación o agresividad no pueden ser desterrados totalmente (con el alivio y mejora consiguientes de la sintomatología). Gracias a estos medios técnicos, el cirujano podrá respetar tejidos funcionalmente críticos durante otros tipos de operaciones. Por añadidura, será posible abreviar los procesos quirúrgicos (reduciendo al mínimo la anestesia y la pérdida de sangre) e incluso acometer operaciones que hasta hace pocos años eran demasiado arriesgadas.

El uso de imágenes en cirugía simplifica los procesos difíciles, pero no se olvide la complejidad de la técnica subyacente. Para describir los procesos de preparación y presentación de las imágenes, tomaremos como ejemplo los que se aplican en el servicio de neurocirugía del Brigham and Women's.

El primer paso esencial es obtener una representación tridimensional de la superficie y anatomía interna de la parte a intervenir, que sacará a la luz estructuras ocultas.

3. LAS RECONSTRUCCIONES TRIDIMENSIONALES de un cerebro humano (*arriba*) y de la base de la espina dorsal de otro paciente (*abajo*) se han seccionado, señalando en distintos colores las estructuras elegidas. Como se ve, estos modelos pueden girarse, y oscurecerse o eliminarse sus componentes. En el cerebro, los vasos sanguíneos se destacan en rojo, los ventrículos en azul, y en verde un tumor con un quiste amarillento. En la espina dorsal se observa en blanco el tejido óseo, los músculos en rosa, el recto en verde, los espacios intervertebrales en amarillo, en azul el saco que rodea tejido nervioso, en verde se destaca un tumor y en verde oscuro las zonas sospechosas de pertenecer a ese tumor.



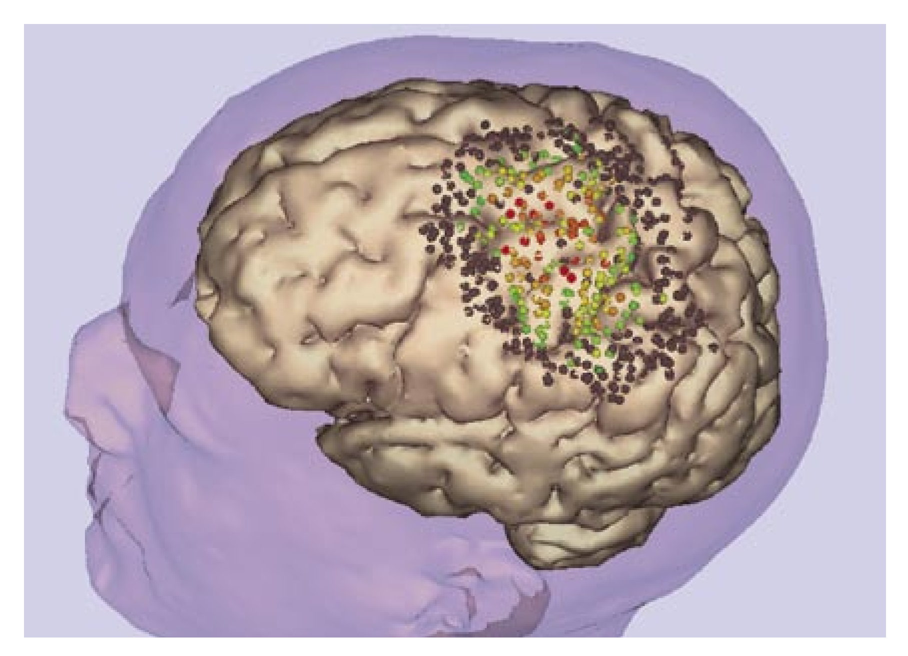


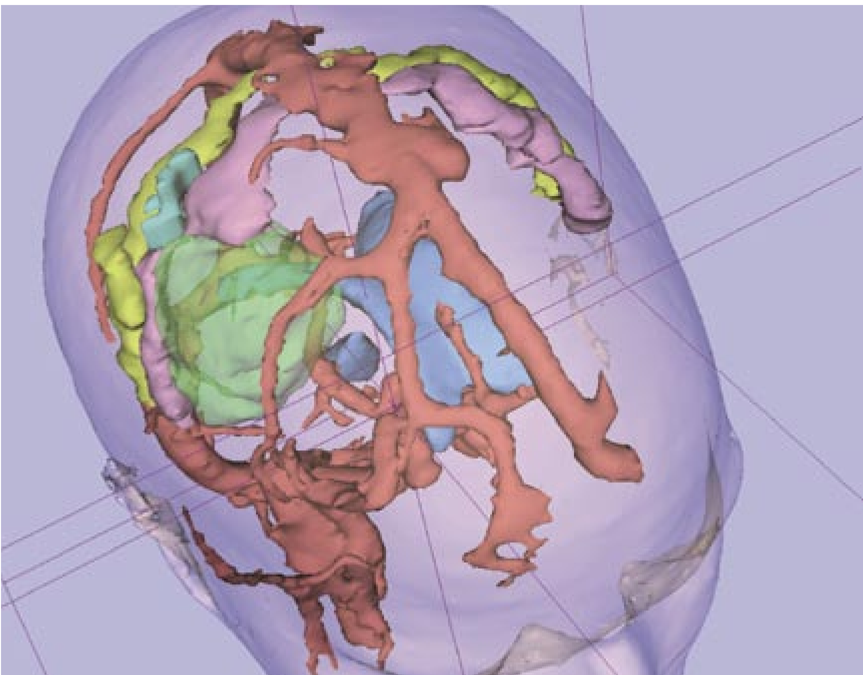
Las imágenes se consiguen por medios no agresivos. Todos hemos visto radiografías de nuestro cuerpo, en que unas zonas aparecen más obscuras que otras en la película, prueba de que los huesos y otros órganos se destacan por la distinta absorción de los rayos X. Pero la imagen resultante es una proyección plana (bidimensional) de una estructura tridimensional y aporta escasa información sobre tejidos distintos del óseo.

La tomografía computerizada (TC) y la técnica de formación de imágenes por resonancia magnética proporcionan, en cambio, un mazo de "rebanadas" virtuales como las que resultarían de cortar la porción del cuerpo que interesa en cientos de láminas muy finas, y obtener en serie imágenes de cada una. En ambas técnicas se almacenan en un ordenador los datos de estas imágenes y se combinan para formar un modelo tridimensional, en el que cada punto se define por sus coordenadas horizontal y vertical en la rebanada y por el número de esa rebanada. De las dos, preferimos la técnica de formación de imágenes por resonancia magnética; por una razón poderosa: expone mejor la anatomía y es más sensible a los tejidos enfermos. Además, libra al paciente de radiaciones ionizantes, pues se funda en la medición de la respuesta del cuerpo a los campos magnéticos.

Con el paciente acostado en el hueco del imán cilíndrico, la máquina MRI produce un campo magnético constante. En esencia, este campo hace girar ciertos protones (partículas subatómicas dotadas de carga positiva). Si se aplica brevemente (en forma de impulso) un segundo campo, los protones se inclinarán en un ángulo distinto mientras giran. Al cesar el impulso, volverán a su orientación original, liberando en el proceso una cantidad detectable de energía. Las energías emitidas en respuesta al impulso variarán según la clase de tejido, lo que se reflejará en un brillo más o menos intenso en la pantalla del sistema MRI.

Combinadas ya las rebanadas bidimensionales, el volumen obtenido se ha de fraccionar en "vóxeles" (elementos de volumen, equivalentes tridimensionales del píxel). Cada vóxel será etiquetado con el tipo de tejido y se unirá a otros vóxeles afines para formar estructuras identificables. En neurocirugía, el tejido normal puede etiquetarse como grasa, hueso, vaso sanguíneo, piel, ventrículo (cavidad llena de fluido), fluido cerebroespinal, materia gris o materia blanca. En teoría puede programarse un ordenador para asignar rutinariamente etiquetas, según el brillo del vóxel. Sin duda hay





4. EL MAPA "FUNCIONAL" revela zonas corticales que controlan músculos específicos. Un modo de conseguirlo es enviar impulsos inocuos a puntos aislados del cerebro y detectar qué músculos responden a ellos mediante electrodos repartidos por el cuerpo. En la ilustración superior, la respuesta de los músculos de la mano derecha será fuerte cuando el punto es *rojo*, media si es *naranja* y *amarillo*, débil para el *verde* y nula para el *negro*. Los mapas funcionales se combinan para formar modelos estructurales. En la imagen inferior, un cerebro afectado de cáncer, la corteza motora (identificada por una segunda técnica) se muestra en colores *magenta* y *turquesa*; el tumor (*verde*) ha desplazado parte de la corteza.

estructuras que, como el cráneo o los ventrículos, saltan a la vista, tanto para el ordenador como para un observador cualquiera, y pueden etiquetarse de manera inmediata.

Pero hay zonas fronterizas que no difieren de una forma nítida y pueden ser difíciles de clasificar por simple lectura. Sin ir más lejos, al ordenador le costará trabajo separar la materia gris de la corteza cerebral de la materia blanca subyacente, o destacar los bordes de un tumor sobre el tejido normal que le rodea. Para superar la dificultad, se han elaborado algoritmos capaces de interpretar las señales ambiguas.

En uno de ellos se empieza con una etapa manual. Para cada clase de tejido, el técnico selecciona vóxeles del mismo y registra sus intensidades. A cada tipo de tejido se asigna una gama de intensidades. El ordenador examina, a su vez, la intensidad luminosa de todos los vóxeles restantes y los agrupa con las gamas que más se les aproximan.

Para cerciorarse del acierto en las asignaciones, se aplica otro algoritmo, desarrollado por William M. Wells, de nuestro grupo. Se intenta así corregir las variaciones en los campos magnéticos pulsados que emite el imán. Si los impulsos fueran predecibles y uniformes en toda el área de la imagen, podrían también predecirse las lecturas correspondientes a tejidos específicos. Por desgracia la técnica MRI falla en este aspecto: distintas partes de la zona explorada quizá reciban diferentes cantidades de energía y, por tanto, algunos vóxeles podrían presentar luminosidades engañosas con la consiguiente clasificación incorrecta.

El programa elaborado por Wells empieza por generar una lista que indica las intensidades representativas de cada tipo de tejido si los impulsos MRI fueran uniformes por doquier. La intensidad de cada vóxel se compara luego con esa lista, asignándole siempre que sea posible una etiqueta de tejido. Si la intensidad no encaja dentro de ninguno de los márgenes predichos, pero se aproxima a uno de ellos en particular, se asigna provisionalmente el vóxel al tipo de tejido correspondiente. Luego, el programa estima el error en el campo magnético calculando la diferencia entre intensidad real y prevista, ajusta las intensidades y reinicia los procesos de asignación y corrección. Se repiten estas etapas hasta que a cada vóxel se le asigne una etiqueta única y definitiva.

A veces, la intensidad no basta para distinguir los tejidos. Por ejemplo, la materia blanca y los músculos del cuello podrían tener una composición molecular semejante; lo que supondría dar el mismo margen de valores en las exploraciones MRI. Cuando eso ocurre, puede eliminarse la confusión mediante un programa automático creado por Tina Kapur y Simon Warfield, de nuestro grupo. El programa predice las posiciones generales de las estructuras con base en un at-

las de anatomía informatizado. Por ejemplo, en el caso de una porción de tejido cerebral que da intensidades atribuibles lo mismo a materia blanca que a músculo, el programa podría saber que no existe músculo en esa región del cerebro y que debe, por tanto, tratarse de materia blanca. Por último, los técnicos revisan a menudo en pantalla las exploraciones segmentadas para asegurarse de que las asignaciones a tejidos guardan una coherencia anatómica.

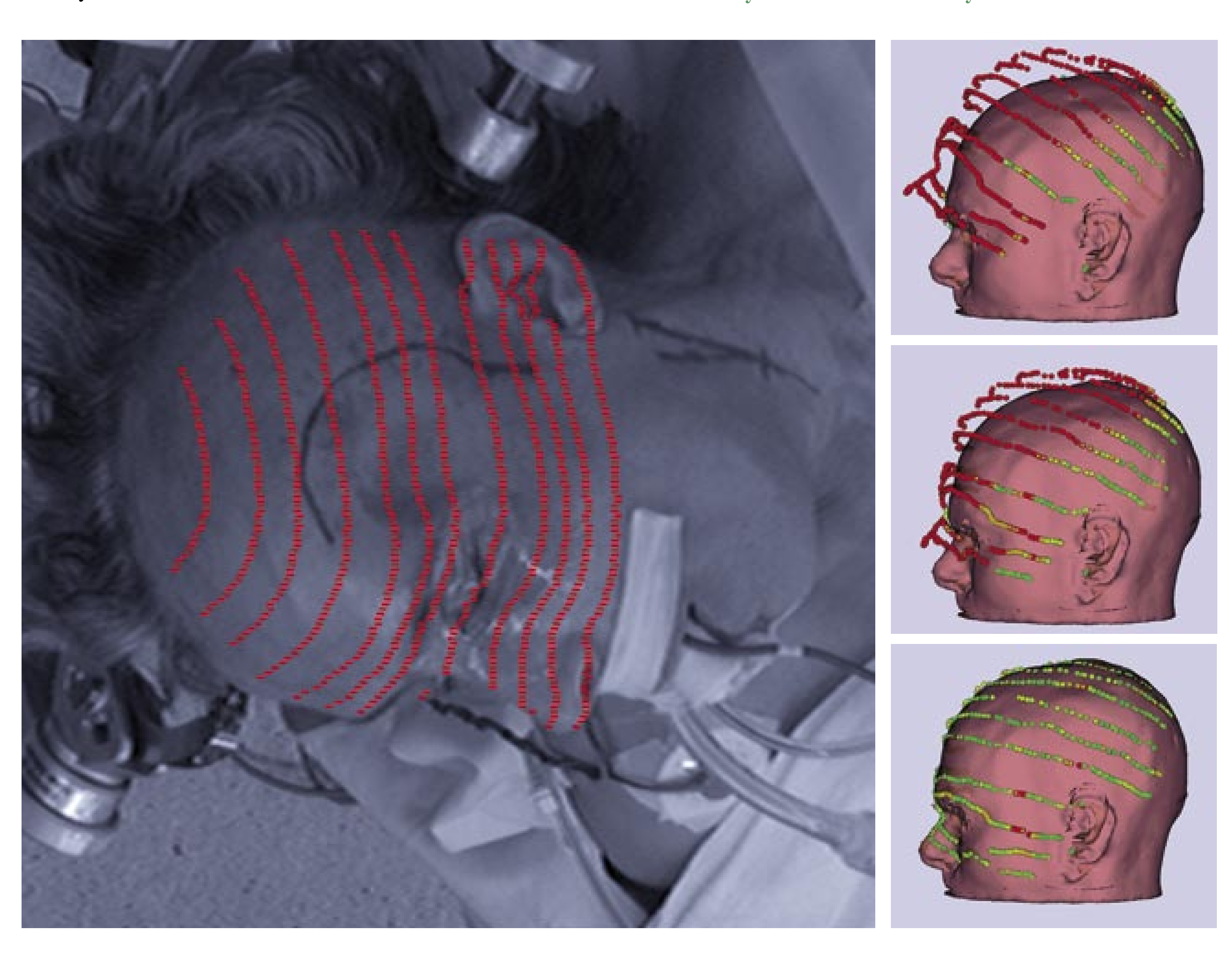
Etiquetado ya cada vóxel con su tipo de tejido, otros programas delinean los diversos tejidos con distintas convenciones, casi siempre en color. A partir de un punto único, el ordenador pintará de un color todos los vóxeles circundantes a los que se ha asignado un mismo tejido, y repetirá el proceso hasta haber reunido todos los vóxeles relacionados. El programa aplicará idéntico procedimiento a otros tejidos, asignando a cada tipo de tejido un color determinado. Acostumbramos, por ejemplo, a pintar en rojo los vasos sanguíneos, los ventrículos en azul y los tumores en verde.

El modelo segmentado es muy útil para observar detalles que el cirujano no percibe a simple vista; pensemos en la instalación y forma de un tumor. Sin embargo, la técnica MRI y de segmentación normal no puede dar otras informaciones anatómicas y fisiológicas que tal vez sean necesarias. Para ello hay que recurrir a un segundo grupo de algoritmos.

A menudo sucede que los vasos sanguíneos no se perfilan con nitidez en las exploraciones MRI utilizadas para construir el modelo virtual de la cabeza de un paciente. Para conseguir mayor claridad, el equipo quirúrgico podría procurarse angiogramas por resonancia magnética. Se consiguen los angiogramas volviendo a explorar al paciente, pero ajustando esta vez los campos de la MRI para sacar a la luz la sangre circulante.

Los angiogramas por resonancia magnética resultantes se alinearán después con el juego original de exploraciones MRI y se integrarán con ellas en el modelo. La fusión se realiza por un proceso de registro automático, superponiendo los dos conjuntos de datos y buscando luego la mejor manera de trasladar y girar un conjunto con respecto al otro. La disposición óptima resulta de aplicar el concepto matemático de información mutua. En esencia, consiste en agrupar las regiones en razón de la cantidad de información que ofrecen; las zonas de abundante información (de contextura muy variada) se emparejan con otras de similar riqueza de datos; las de escasa información (por ejemplo, de intensidad uniforme) se acoplan con otras semejantes.

El cirujano debe también observar la posición de las regiones donde residen funciones críticas, casi siempre la corteza motora del cerebro. La formación de imágenes no es sufi-



5. UNA "MASCARA" DE LUZ LASER (*líneas rojas*) moldea los contornos del rostro de un paciente tendido sobre la mesa de operaciones (*izquierda*). Para ajustar con precisión el modelo informático de un cerebro individual al cerebro real, el ordenador gira y traslada el modelo hasta que coinciden perfectamente los contornos del rostro virtual y de la máscara de rayos láser.

W. ERIC L. GRIMSON, RON KIKINIS, FERENC A. JOLESZ y PETER McL. BLACK acumulan una amplia experiencia en cirugía guiada por imágenes. Grimson dirige el laboratorio de inteligencia artificial del Instituto de Tecnología de Massachusetts. Kikinis encabeza el laboratorio de planificación quirúrgica del Hospital Brigham and Women's, el mismo centro donde Jolesz lidera la división de formación de imágenes por resonancia magnética y terapias vinculadas a esa técnica.

ciente, pues las propiedades de los tejidos de la corteza motora no pueden distinguirse de las de otros tipos de corteza, es decir, dan intensidades de señal parecidas en las exploraciones MRI. Tampoco la corteza motora se distingue a simple vista de la corteza que atiende otras funciones.

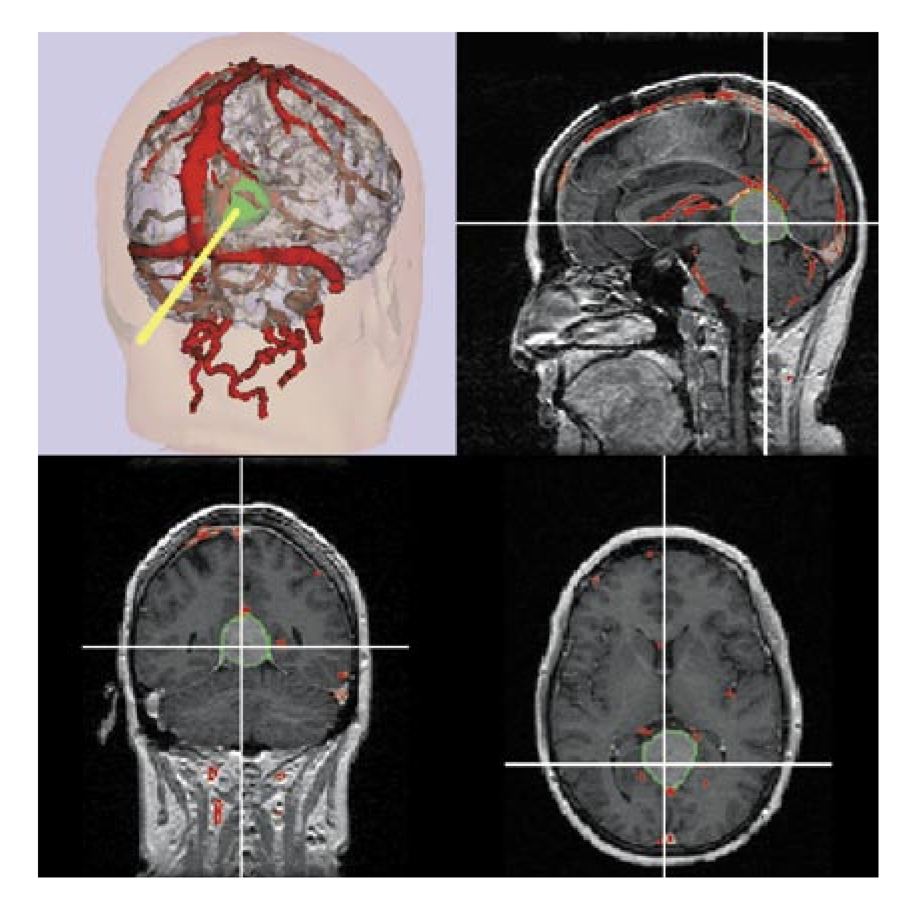
Podemos abordar este problema por dos vías inocuas. Cuando el cuerpo utiliza un músculo, aumenta el flujo sanguíneo en la región cortical que controla ese movimiento. La técnica de formación de imágenes "funcionales" por resonancia magnética detecta los aumentos; puede, por tanto, señalar las zonas corticales responsables de cada músculo. Puede, además, utilizarse un estimulador transcraneal magnético, aparato provisto de un par de electroimanes que inducen pequeñas corrientes eléctricas en las zonas enfocadas de la corteza cerebral; este estímulo no provoca dolor ni daño alguno. Mediante sensores eléctricos adheridos a la piel del paciente, se identifican los músculos afectados por la estimulación de puntos específicos de la corteza. También podemos registrar la información funcional en el modelo virtual de la cabeza del paciente, marcando cualquier referencia a los músculos en cuestión.

Los modelos transparentes son una baza esencial para la planificación de procesos quirúrgicos. Pero su máxima utilidad surge al asociarlo con el paciente que yace en la mesa. De este modo, la anatomía interna se hace "visible" al cirujano durante la operación y ello le evita tener que transformar mentalmente el modelo, con riesgo de errores.

El instrumento clásico para registrar las imágenes prequirúrgicas obtenidas del paciente real es el casco estereotáctico, una especie de funda que se encasqueta en el cráneo del paciente. Si éste lo lleva en las pruebas previas y en la operación, las marcas que se hayan señalado en el casco permitirán al cirujano correlacionar las imágenes prequirúrgicas con el cráneo mismo durante la intervención. Porque los cascos resultan molestos para el paciente y embarazosos para el cirujano, buscamos otra solución más elegante, las que elaboró en nuestro grupo Steven White.

El sistema de White se basa en iluminar con láser el cuero cabelludo y el rostro del paciente, cuya cabeza se inmoviliza en una posición fija durante todo el proceso de registro y la operación que le sigue. La luz del generador láser atraviesa una lente que extiende el haz a lo largo de una línea. Si este rayo luminoso incidiera directamente en la mesa del quirófano, su traza se mantendría plana y recta. Pero al dar en la cara del paciente su trayectoria se deforma y se adapta a los contornos del rostro, igual que si se dejase caer un trozo de cuerda sobre ese mismo punto. Una cámara asociada a un ordenador —el mismo que almacena el modelo segmentado de la cabeza del paciente— registra el camino trazado, tras lo cual el rayo va avanzando a través del rostro. Los sucesivos registros de los rayos describen la topología superficial de la cabeza en su posición exacta.

Con este "molde" por láser del rostro almacenado en el ordenador, se invoca otro algoritmo ideado en el MIT para girar la cabeza virtual, hasta que la faz coincida exactamente con los contornos de los rayos del láser. Pero persiste un problema. Durante la operación, la pantalla ha de mostrar al paciente tal como lo ve el cirujano, no como lo ve la cámara que ha fotografiado los rayos láser. Es fácil realizar este ajuste mediante una segunda etapa de registro, en la que se calcula la posición relativa del médico con respecto al sistema láser. Por último, completada ya la alineación y en la certeza de que todas las estructuras internas se han desplazado en sincronía con la superficie del rostro, podemos insertar la



6. DURANTE LA OPERACION puede localizarse la trayectoria y posición exacta del bisturí mediante una sonda. El ordenador presenta a menudo el modelo tridimensional así como las secciones bidimensionales del cerebro visto de perfil, de frente y desde arriba. La flecha amarilla en el modelo tridimensional y los puntos de mira en las otras imágenes señalan el extremo de la sonda. El tumor se muestra en verde, y en rojo los vasos sanguíneos.

cabeza virtual en un vídeo del paciente en directo y obtener así una visión del tipo “rayos X”.

Esta presentación, aunque extraordinaria, se queda en un terreno pasivo. Más allá de la localización y fijación de blancos, pretende la cirugía guiada por imágenes conocer la posición (las coordenadas) del bisturí en todo momento. Se consigue ese objetivo equipando una sonda con diodos fotoemisores en infrarrojos.

A medida que el cirujano roza un tejido con la punta esterilizada de la sonda, tres cámaras, separadas entre sí a distancias conocidas, registran la luz generada por los diodos colocados a una distancia fija del extremo de la sonda. Siguiendo procesos de triangulación normales, muy parecidos a los topográficos, los ordenadores asociados a las cámaras calculan la posición exacta de la sonda en el cuerpo y la visualizan sobre el modelo anatómico. En nuestro caso, el monitor complementa esta presentación tridimensional con imágenes que indican la posición de la sonda en tres secciones transversales distintas.



7. A LYNDA TOLVE, de 32 años, se le extirpó en 1996 un tumor cerebral causa de frecuentes ataques, gracias a una primera versión de cirugía guiada por imágenes implantada en el Hospital Brigham and Women’s de Boston. Otros médicos la habían desahuciado, pues extirpar el tumor comportaba un gran riesgo de dañar la corteza motora adyacente y dejarla paralítica. Al año siguiente se casó con su novio, Daniel McCafferty (*derecha*), y no ha vuelto a sufrir ataques.

Por supuesto, los modelos construidos reflejan la anatomía del paciente antes de iniciar la operación. En cuanto el cirujano ha movido o eliminado un tejido, la representación original pierde vigencia. Tenemos que recurrir al imán abierto para afrontar este último reto: obtener imágenes actualizadas a medida que avanza la operación. Dado que la intervención quirúrgica se verifica dentro del hueco del imán, es posible efectuar en cualquier instante nuevas exploraciones del paciente e integrarlas con las imágenes tomadas anteriormente, adaptadas a la perspectiva del cirujano. La actualización reviste obvio interés cuando la anatomía es flexible y las posiciones pueden alterarse de un instante a otro.

Las posibilidades de interacción y actualización de nuestro sistema merecen reseñarse. Permiten comprobar con frecuencia los progresos de la intervención quirúrgica. También dan fácil respuesta a preguntas del tenor siguiente: “¿Dónde acaba el tumor?” “¿Estoy muy cerca de la corteza motora?” “¿En qué dirección debo avanzar ahora?” “¿He extraído ya todo lo que podía del tumor o queda más por extirpar?”

Por ahora las imágenes obtenidas durante la intervención quirúrgica son bidimensionales. Según lo prefiera el cirujano, se presentan junto al modelo prequirúrgico o superpuestas al mismo. Pero el objetivo final es segmentar, dar color y combinar estas nuevas imágenes en un modelo tridimensional, lleno de información valiosa y de fácil observación, con rapidez tal que pueda actualizarse directamente en el transcurso de la operación. Ello es enteramente factible; de hecho esperamos incorporar estas capacidades al sistema dentro de un año más o menos.

Las técnicas que acabamos de describir —y procedimientos muy semejantes a los nuestros— se utilizan cada vez más en neurocirugía, además de prestar apoyo a operaciones complejas en los huesos, senos nasales, riñones, hígado, columna vertebral y otros tejidos. Pero sus posibilidades no se agotan en la sala de operaciones.

Las aplicaciones abundan particularmente en el tratamiento del cáncer. En la terapia por radiación, se utilizan métodos de construcción de modelos y la técnica de formación de imágenes en tiempo real para asegurar que los haces de radiación convergen en el deseado emplazamiento anatómico, arrojando altas dosis de radiación en los tumores pero bajas dosis en los tejidos de alrededor. Para evaluar mejor la eficacia de las radioterapias y quimioterapias, los médicos examinan imágenes tridimensionales que ponen de relieve el tamaño y la posición de los tumores antes y después del tratamiento. La capacidad de formar imágenes puede incluso servir para detectar tumores incipientes. Nuestro grupo está examinando la aptitud de las representaciones tridimensionales preparadas a partir de exploraciones MRI para discernir alteraciones malignas en el pecho antes de poder identificarlas claramente en mamografías.

Las futuras aplicaciones a la cirugía de la visualización informatizada todavía plantean problemas técnicos. Sobre todo, la dificultad de conseguir representaciones útiles de los tejidos muy flexibles. Los modelos de órganos abdominales pueden perder precisión en cuanto el paciente respira o contrae ciertos músculos. Para corregir este efecto se están elaborando algoritmos capaces de predecir deformaciones de los tejidos.

Pese a sus presentes limitaciones, la cirugía guiada por imágenes ejerce hoy un poderoso influjo en la medicina. El ordenador se ha convertido en un valioso auxiliar del médico, con lo que las operaciones serán en el futuro menos agresivas, más breves, su riesgo será menor y mayores sus probabilidades de éxito.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

ADAPTIVE SEGMENTATION OF MRI DATA. W. M. Wells, W. E. L. Grimson, R. Kikinis y F. A. Jolesz en *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 15, n.º 4, págs. 429-442; agosto de 1996.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INTRAOPERATIVE MAGNETIC RESONANCE IMAGING AND ITS NEUROSURGICAL APPLICATIONS. P. M. Black y otros en *Neurosurgery*, vol. 41, n.º 4, págs. 831-842; octubre de 1997.

IMAGE-GUIDED PROCEDURES AND THE OPERATING ROOM OF THE FUTURE. Ferenc A. Jolesz en *Radiology*, vol. 204, n.º 3, págs. 601-612; 1997.

Para más información puede consultarse: http://www.ai.mit.edu/projects/medical-vision/; http://splweb. bwh.harvard.edu:8000/ y http://cisstweb.cs.jhu.edu/

Guerra biológica contra los cultivos

La suelta intencionada de organismos que devoren las cosechas del enemigo es un arma devastadora en tiempos de guerra o en manos terroristas

Paul Rogers, Simon Whitby y Malcolm Dando

El 25 de noviembre de 1969, el presidente Richard Nixon anunciaba que los Estados Unidos "renunciaban unilateralmente al uso de agentes y armas biológicas letales y de todos los demás medios relacionados con la guerra biológica". De puertas afuera se aducía el limitado interés militar de esas armas. Pero al deponer ante el Senado en 1989, Matthew S. Meselson, biólogo molecular de Harvard y experto en armas biológicas, explicaba las razones: "Primero, esas armas podían constituir una amenaza no menor que las nucleares; segundo, podían ser más sencillas y baratas de desarrollar y fabricar que las armas atómicas; y, sobre todo, podía copiarse fácilmente el programa estadounidense de armas biológicas... Ante un análisis tan riguroso y escueto nos llevó a la conclusión de que nuestro programa de armas biológicas encerraba una grave amenaza para nuestra propia seguridad."

Podría decirse que el uso de armas biológicas se remonta a la época del Imperio Romano, cuando era práctica común envenenar los pozos enemigos echando dentro animales muertos. Hoy se entiende por guerra biológica, si atendemos a la definición gubernamental estadounidense, "el cultivo o producción de bacterias patógenas, hongos, virus, etc., y sus productos tóxicos, así como ciertas sustancias químicas, con la intención de producir enfermedades o muerte".

El terror que provocan las armas biológicas se asocia a la imagen de una población sometida al ántrax o la peste. No han faltado locos que han intentado hacerse con organismos patógenos para sus fines terroristas. Se les ha dado amplia publicidad. La gente ha tomado así conciencia del peligro que suponen las enfermedades infligidas adrede. Pero hay otro tipo de arma que tiene una capacidad destructiva mayor, pese a lo cual no ha llamado la atención. Los "otros métodos de guerra biológica" mencionados por Nixon incluyen los que acaban con las cosechas, no con las personas.

J. E. Van Der Plank, experto en fitopatología vinculado al Instituto de Protección Vegetal de Pretoria, previó ya, a principios de los sesenta, el alcance de tales armas. "Solemos llamarlas epidemias explosivas", escribió. "En tiempos de paz, el adjetivo es mera descripción, pero en tiempos de guerra podría adquirir pleno sentido literal. Hay pocos explosivos que superen a un patógeno que aumenta un 40 % diario... y sigue multiplicándose a lo largo de meses enteros... Muchos tipos de esporas se dispersan con la facilidad del humo... Basta con soltarlas en los lugares adecuados en el momento oportuno. La naturaleza cebará la explosión."

Potencial del arsenal biológico

La decisión unilateral de Estados Unidos allanó el camino a la Convención sobre Armas y Toxinas Biológicas de 1972. Exigía ésta en su firma la suspensión de los ensayos y la destrucción del arsenal almacenado. Aceptaron el acuerdo 141 países, lo que no ha impedido que en los últimos diez años haya aumentado de forma considerable la preocupación por los riesgos de la guerra biológica. En esa creciente ansiedad tiene mucho que ver el fantasma del terrorismo. Y la avivó, asimismo, el descubrimiento precursor de la guerra del Golfo de que Irak desarrollaba un intenso programa de armas biológicas, incluidas las dirigidas contra cultivos.

PAUL ROGERS, SIMON WHITBY y MALCOLM DANDO se hallan adscritos al departamento de estudios por la paz de la Universidad de Bradford. Rogers, que dirige el departamento, se formó en patología vegetal. Whitby prepara una reseña histórica de los programas de guerra biológica contra cultivos. Doctor en neurofisiología por la Universidad escocesa de St. Andrews, Dando enseña seguridad internacional en Bradford.



1. LOS DEFOLIANTES QUIMICOS, como los que se usaron en la guerra de Vietnam (*arriba*), proceden de los programas, iniciados en la Segunda Guerra Mundial, que desarrollaron armas biológicas dirigidas contra cultivos.

La investigación iraquí en armas biológicas, iniciada en los años setenta, alcanzó su apogeo entre 1985 y 1991. Se centró en patógenos humanos (ántrax) y en toxinas (toxina botulínica y aflatoxina). La línea de exploración de plagas contra cultivos insistió en la caries del trigo, patología causada por un hongo del género *Tilletia*. El hongo de la caries del trigo sustituye las flores del trigo por masas de esporas negras, que se dispersan luego a otras plantas. Los hongos de la caries del trigo, endémicos en algunas regiones del mundo, arruinan las cosechas cuando atacan en tromba. Irak pensaba en Irán, donde el trigo es la principal cosecha cerealística. (La caries del trigo tiene una rara cualidad adicional para la guerra: produce trimetilamina, gas inflamable que puede hacer saltar por los aires las cosechadoras que recogen grano infectado.)

El programa iraquí pone de manifiesto la gravedad de la cuestión. Como señaló Meselson, un país que carezca de la técnica necesaria para fabricar bombas atómicas puede producir otras capaces de provocar hambrunas devastadoras o graves pérdidas económicas.

De todos los cultivos importantes hay numerosas variedades; cada variedad se adapta a unas condiciones específicas de suelo y clima. A su vez, de cada patógeno existen diferentes razas o cepas, que dañarán e infectarán las distintas variedades de cultivo con mayor o menor intensidad. Un agresor podría aprovechar estas características para aislar cepas de patógenos que actuarían como auténticas "bombas inteligentes", pues sólo atacarían las fuentes de cosechas alimentarias del enemigo. Un agente infeccioso humano que se transmita por el aire, como el virus de la gripe responsable de la pandemia de 1918 que mató a 20 millones de personas, encierra un peligro especial. Muchos de los peores patógenos vegetales son esporas de hongos que saltan de una planta a otra, transportadas por el viento; basta a veces una gota de lluvia para transitar de planta a planta en sus salpicaduras.

Para calcular el poder dañino de semejante agresión podemos considerar las pérdidas causadas por enfermedades naturales. En 1970, la roya de las hojas infligió a los maizales del sur de Estados Unidos pérdidas por valor de mil millones de dólares. Las epidemias periódicas de royas y caries de los cereales arruinan por doquier las cosechas. En el siglo XIX, la roya de la hoja del café destruyó las plantaciones de café del sudeste asiático; desde hace veinte años es uno de los graves problemas que sufre Iberoamérica.

La destrucción de una cosecha provocada por un patógeno podría tomarse como un azar de la naturaleza, lo que evitaría al agresor acusaciones y represalias. Si, además, el gobierno necesita la aprobación del parlamento para desatar las hostilidades, siempre le resultará más fácil recibir el apoyo para una sanción económica o ataque contra las cosechas que para un ataque contra la población. El lanzamiento de ántrax contra los habitantes desprotegidos de una ciudad podría matar

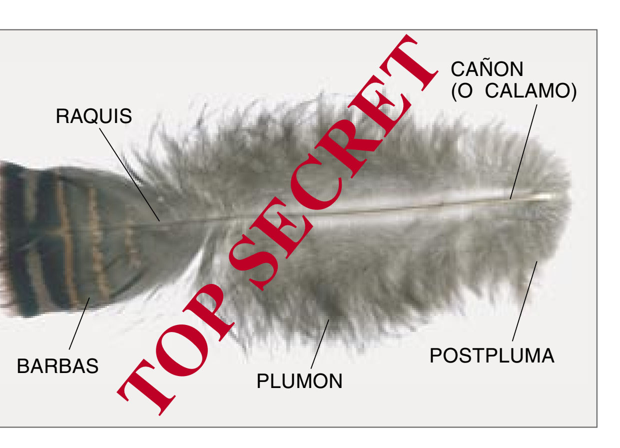
GLOBO DE HIDROGENO

SISTEMA DE CALEFACCION (PARA MANTENER VIABLE EL AGENTE CONTRA CULTIVOS)

RECIPIENTES CARGADOS

AGENTE CONTRA CULTIVOS

2. ESTADOS UNIDOS DESARROLLO ingeniosos artefactos para diseminar agentes biológicos contra cultivos. Un globo de hidrógeno (*izquierda*) llevaba una barquilla con cinco recipientes con los agentes biológicos. (El dibujo se inspira en las descripciones de documentos desclasificados.) Los globos llevaban sistemas de control barométricos y de tiempo para soltar las armas a la altura adecuada y en el tiempo correcto después del lanzamiento. Con la bomba de plumas, las esporas de la enfermedad llegaban al suelo en plumas de pavo, que habían salido de una bomba diseñada en un comienzo para lanzar panfletos de propaganda. Los documentos secretos incluían imágenes como la de la derecha. Se descubrió que las barbas y el plumón sostenían esporas cuyo peso total era casi un 10 % del peso total de la pluma.



a cientos de miles de personas, que morirían en poco tiempo entre dolores agudísimos. Por contra, la destrucción de cosechas podría parecer algo casi irrelevante.

Pero la verdad es que se seguirían efectos terribles. Un país pobre, en el que millones de personas dependen de la cosecha regular de arroz, si se arruinara ese alimento primario con una agresión biológica intencionada, podría sufrir una hambruna que devastaría no menos vidas humanas que el ántrax arrojado contra una ciudad. Desnutrido hasta la extenuación, el estrato más pobre de la población sería el más castigado. Además de los efectos directos de la hambruna, disminuiría la resistencia inmunitaria contra las enfermedades comunes. El dolor y los sufrimientos serían equiparables a los traídos por un ataque con ántrax.

En cualquier caso, la guerra afectaría a la población civil, sin atentar contra objetivos militares. No han faltado voces, en los últimos cien años, en pro de la creación de un control legal internacional sobre el armamento; el mejor ejemplo es la proscripción reciente de las minas antipersonas. Se ha puesto un énfasis especial en buscar limitar al máximo los ataques contra civiles indefensos. Paradójicamente, éstos son las principales víctimas en la guerra biológica contra las cosechas. Hablamos de una batalla anodina, sin explosiones, ni balas, ni metralla; pero sumamente eficaz para causar bajas masivas.

En punto a daño contra la población civil, la historia demuestra que las plagas de las cosechas rivalizan con la confrontación militar. El tizón tardío de la patata, desencadenante de la hambruna de Irlanda en 1845, mató a un millón de personas y forzó la emigración de un millón más. La plaga de la mancha parda del arroz fue responsable en parte de la hambruna de Bengala en 1942; murieron de hambre más de dos millones de personas. En teoría, pues, los agentes contra las cosechas pueden engrosar los arsenales armamentistas de los contendientes.

Ensayos en el bando aliado y en el Eje

Francia inició en 1921 su incursión en las armas biológicas. A finales de los treinta experimentaba ya con el tizón tardío y el escarabajo de Colorado, dos patógenos de la patata. Declarada la Segunda Guerra Mundial, Inglaterra centró sus investigaciones en el ántrax. (Se experimentó en la isla de Gruinard, en la costa escocesa; se tornó inhóspita para medio siglo. Las pruebas, muy próximas a puntos habitados de tierra firme, se trasladaron a la Estación Experimental de Suffield en Alberta, Canadá.) Los ingleses también trabajaron en la lucha biológica contra cosechas, dedicándose a los herbicidas. Algunos de estos asesinos químicos de las plantas se aplicaron en la lucha contra insurgentes comunistas en Malasia; resultaron fundamentales para el uso generalizado de defoliantes químicos en los años sesenta y setenta durante la guerra del Vietnam.

La Alemania nazi no se quedó al margen de la investigación en armas biológicas, lo mismo contra personas que contra cultivos. Abordó el tizón tardío de la patata, royas de las hojas y tizones del trigo; entre las plagas de insectos, el escarabajo de Colorado, el escarabajo de la colza y el escarabajo del maíz. Hacia 1943, estaba empezando un programa para criar a gran escala el escarabajo de Colorado. Los archivos muestran que el escarabajo podría haber estado listo para ser dispersado en junio de 1944. Era demasiado tarde para dañar la cosecha inglesa de patata de aquel año. La rendición en 1945 hizo que la prueba de campo del escarabajo del Colorado quedara sin hacer.

El programa de guerra biológica de Japón en la Segunda Guerra Mundial estuvo en manos de la Unidad 731, que realizó vivisecciones de prisioneros y desarrolló agentes biológicos contra seres humanos. Respecto al programa contra cultivos, se sabe que había 100 expertos dedicados a la investigación de patógenos vegetales y herbicidas químicos. Se puso particular énfasis en la agresión contra las cosechas soviéticas y estadounidenses, especialmente las del noroeste del Pacífico. Confiaban en el tizón y en las infecciones del trigo con nematodos. También montaron una fábrica con capacidad para producir más de 90 kg anuales de esporas de royas de cereales.

El empeño estadounidense

Desde los años cuarenta hasta el anuncio de Nixon en 1969, Estados Unidos mantuvo un sólido programa de guerra biológica que incluía amplios estudios sobre armas contra cultivos. Cuenta Julian Perry Robinson, de la Universidad de Sussex, que el trabajo dedicado a los agentes contra cultivos podía, por sí solo, constituir un programa entero de armas biológicas cuando estuvo a punto de desaparecer antes de 1969.

Se ha levantado ya el secreto sobre muchos aspectos del arsenal biológico. En su trabajo sobre la amenaza de las armas químicas, Robinson desveló parte de los informes sobre guerra contra cultivos hasta entonces declarados reservados. Whitby, uno de los firmantes, descubrió más datos sobre armas contra cosechas entre otros informes generales sobre guerra biológica, datos que habían pasado inadvertidos a otros.

Por parte norteamericana se exploraron muchas vías, desde el tizón tardío de la patata a la podredumbre esclerotizante, que ataca a la soja, la remolacha azucarera, la batata y el algodón. Por encima de todo, sin embargo, la mirada estaba fija en los trigales de Ucrania y los arrozales chinos.

Entre 1951 y 1969, Estados Unidos almacenó más de 30.000 kg de *Puccinia graminis* var. *tritici*, el hongo que causa la roya del trigo. Con tamaña cantidad podríamos infectar todas las plantas de trigo de la Tierra. *P. graminis* presenta excelentes cualidades para el arte de la guerra, pues las esporas son viables durante más de dos años si se almacenan en frío, y se extienden rápidamente cuando se liberan: un solo grano de trigo infectado puede contener 12 millones de esporas, cada una de las cuales podría infectar otra planta. Como principal agente contra el arroz, se eligió el quemado del arroz, causado por *Piricularia oryzae*. En 1966 se contaba con un almacén de cerca de una tonelada de esporas del tamaño de una mota de polvo.

Estados Unidos ideó también ingenios dispersantes. Así, una bomba de







3. LOS CAMPOS DE PATATAS pueden ser destruidos por el tizón tardío, como puede verse en estas fotografías en las que se comparan plantas sanas de patata (*arriba a la izquierda*) con plantas enfermas (*arriba a la derecha*). Ni los tubérculos apenas dañados por el tizón tardío (*abajo a la derecha*) son comibles. La plaga, que provocó la hambruna de 1845 en Irlanda, podría constituir una potente arma biológica.

500 libras cuyo fin originario había sido arrojar panfletos propagandísticos. En vez de hojas volanderas, el arma iba repleta de plumas, cargadas del fino polvo de las esporas de hongos. Nunca desde los tiempos de la Norteamérica prerrevolucionaria, cuando los ingleses repartieron mantas infectadas de viruela a los indios, habían servido unos objetos tan inocentes a fines tan mortíferos. Se ensayó la "bomba de plumas" en Camp Detrick, Maryland, y en las islas Vírgenes. Liberadas del envase que las retenía, las plumas volaban hasta el suelo, cubriendo una extensa zona. Al aterrizar sobre los cultivos, las esporas patógenas pasaban de las plumas a las hojas. De acuerdo con un informe desclasificado de Camp Detrick, "las plumas cargadas con un 10 % de su peso en esporas de roya del trigo y soltadas desde un adaptador M16A1 modificado a 400-550 m de altura portarían el número de esporas suficiente para desencadenar una epidemia".

En los años cincuenta se desarrollaron técnicas pulverizadoras que sembrarían los patógenos desde aviones F-100, F-105 y F-4C, sistema que se aplicó a la lluvia de herbicidas en el conflicto del Vietnam. Se pensó también en aerostatos autónomos que portarían medios diseminadores desde el aire.

El programa estadounidense de guerra contra cultivos se interrumpió con la decisión unilateral de abandonar todo ensayo. Los informes recibidos de desertores indican que la Unión Soviética retuvo un activo programa contra cultivos hasta su disolución en 1991, pero no hubo nuevos informes sobre intentos semejantes hasta las revelaciones de la comisión especial de las Naciones Unidas sobre Irak en 1995.

¿Una amenaza creciente?

En el siglo XXI, los países desarrollados o en vías de desarrollo tendrán aún mucho que temer de sus enemigos, sean naciones, facciones políticas o terroristas, que quieran elegir emprender una guerra contra las cosechas. La mayoría de las enfermedades que se propagan rápidamente durante la estación de crecimiento suelen presentar un período de incubación corto y afectar a las hojas. En algunos países, el Ministerio de Agricultura se ocupa de la identificación precoz de los brotes de infección y recomienda los plaguicidas para detener la enfermedad. Pero los países pobres carecen a menudo de los recursos necesarios para aplicar tales medidas de detección y control.

Las naciones desarrolladas de América del Norte y Europa Occidental ofrecen un riesgo añadido. No es otro que la tendencia general a ceñirse a un par de variedades de los principales cultivos. En tales monocultivos, la falta de diversidad deja expuesta a la cosecha entera ante organismos patógenos para esas variedades. El enemigo podría liberar agentes infecciosos justo cuando las condiciones meteorológicas y el momento de crecimiento aseguraran el efecto máximo y la pandemia. Aun cuando la nación víctima consiguiera detener el brote antes de que se extendiera la destrucción, podría sufrir considerables pérdidas económicas.

La biotecnología y la ingeniería genética pueden multiplicar la capacidad de cualquiera que esté interesado en desarrollar armamento biológico, incrementando así la amenaza. Se están descifrando el genoma vegetal y las interacciones de las plantas y sus patógenos. Esos trabajos de genética básica, ordenados a estimular la producción agrícola, sirven involuntariamente para refinar el armamentario biológico. Podrían producirse cepas de organismos causantes de enferme-

dades más graves, resistentes a los insecticidas al uso o capacitados para sobrevivir en condiciones extremas de humedad o temperatura.

Las Naciones Unidas se hacían eco de 10 enfermedades de los cultivos que podrían convertirse en armas. La mayoría de los cultivos básicos se hallan expuestos a esas enfermedades; algunas de las más dañinas son la roya del trigo, el tizón de la caña de azúcar y el quemado del arroz. Otros cultivos amenazados son el maíz, las patatas, variedades diversas de judías, ciertas frutas y el café. Otro blanco podrían ser los pinos, de interés maderero.

Cerrado el período de la guerra fría, ahora la presión política y las sanciones económicas pueden ser tan eficaces como la confrontación militar directa. Si la mera posibilidad de asignar recursos para cortar epidemias incipientes ha supuesto un fuerte revés para la guerra contra cultivos, la prohibición de las armas contra cultivos debería centrar los esfuerzos que consoliden la Convención de Armas Biológicas y Toxinas.

Desde el fin de la guerra del Golfo se han venido celebrando reuniones en Ginebra con ese propósito. Para lograr dicha meta resulta imperioso establecer un protocolo de verificación eficaz. Un organismo se encargaría de ponderar las declaraciones de las instalaciones capacitadas para fabricar armas biológicas. Podría llevar a cabo su misión con visitas a pie de obra, anunciadas o no, es decir, "en cualquier momento, en cualquier lugar y sin posibilidad de rechazarlas". Su capacidad de inspección debería llevarles a la investigación sobre el terreno de cualquier supuesto uso de armas biológicas.

Estados Unidos, la Unión Europea y otros países apoyan la creación de un protocolo de verificación, lo que podría llevar a un acuerdo antes de 2001 (para entonces está prevista la quinta Conferencia Quinquenal de Revisión del tratado original), pero no es seguro que se llegue a un consenso. Además de las dificultades técnicas planteadas por los planes de verificación, hay otros problemas políticos que resolver.

Las naciones industrializadas discrepan de los países en desarrollo sobre el grado de ayuda científica y técnica que ha de incluirse en el protocolo. No tendría que ser el protocolo una herramienta de transferencia mediante la cual pudiera traspasarse técnica de guerra biológica desde los países que la poseyeran hacia los que carecieran de ella. Aunque tampoco debería servir para obstruir la transferencia legítima de técnica con propósitos pacíficos.

Las empresas de biotecnología temen, por su parte, que las visitas e inspecciones les supongan fugas de valiosa información comercial. Y, por supuesto, algunos países podrían querer conservar la opción de desarrollar armas biológicas.

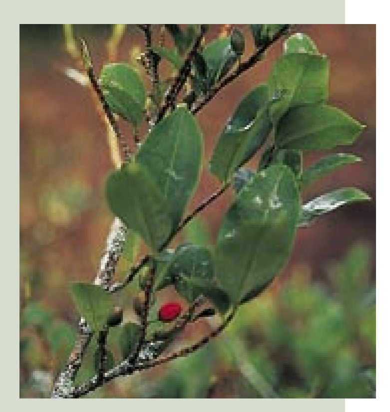
Si fracasa el empeño de reforzar la Convención de Armas Biológicas y Toxinas, el mundo habrá de hacer frente a una posible pérdida del control de armas de destrucción masiva en un momento en el que los descubrimientos científicos y técnicos se están acelerando. Las consecuencias podrían ser la creación de un arsenal devastador con el punto de mira puesto en el alimento básico de miles de millones de personas.

Arma definitiva o cáliz de veneno: la guerra biológica contra las drogas

El año pasado, el Congreso estadounidense aprobó un programa antidroga, con una asignación de 23 millones de dólares, que incluía investigaciones sobre patógenos vegetales. Las plantas que producen cocaína, heroína o marihuana se cuentan entre los objetivos. Los defensores del programa lo presentaron como un gran adelanto. El representante de Florida Bill McCollum, uno de los abogados de la ley, dijo: "Todo hace pensar que podemos así cambiar el curso de la guerra contra la droga... Podríamos estar ante el arma definitiva."

El Artículo I de la Convención Sobre Armas y Toxinas Biológicas de 1972 proscribe el desarrollo y almacenamiento de agentes biológicos destinados "a propósitos hostiles o utilizables en un conflicto armado". También prohibía las armas biológicas "que no tengan justificación para usos profilácticos, de protección u otros destinos pacíficos". Quienes sugieren emplear patógenos vegetales contra los cultivos de drogas afirman, por tanto, que sólo se usarían en programas de cooperación con los países en los que se producen esas drogas.

Los que se oponen a estos planes presentan tres objeciones. Una es que la epidemia inducida, en algunos casos, se extienda a otras plantas. En segundo lugar, que los patógenos vegetales se arrojen sobre regiones productoras de droga sin el consentimiento del país en cuestión. Aunque esta idea pueda ser popular en las instituciones contra la droga, es seguro que causaría una ruptura en la Convención y sentaría un peligroso precedente. Pero la tercera objeción es la de mayor peso: el desarrollo de un poder destructor de plantaciones de droga con patógenos vegetales produciría inevitablemente un acervo de conocimientos y experiencia práctica que podrían aplicarse en una guerra biológica mucho más agresiva y cuyo blanco fueran las cosechas.



Planta de coca

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

ANTI-CROP BIOLOGICAL WARFARE—IMPLICATIONS OF THE IRAQI AND U.S. PROGRAMS. Simon Whitby y Paul Rogers en *Defense Analysis*, vol. 13, n.º 3, págs. 303-318; 1997.

PLANT PATHOLOGY. Cuarta edición. George N. Agrios. Academic Press, 1997.

BIOTECHNOLOGY, WEAPONS AND HUMANITY. Malcolm Dando. British Medical Association, Harwood Academic Publishers, 1999.

El Programa Bradford sobre la Aplicación de la Convención Sobre Armas y Toxinas Biológicas está disponible en www.brad.ac.uk/acad/ sbtwc en la World Wide Web.

El Boletín de las Convenciones de Guerra Química y Biológica del programa de Harvard-Sussex en CBW Armament and Arms Limitation está disponible en fas-www.harvard.edu/ ~hsp/ en la World Wide Web.

PREVENCION DE LAS CATASTROFES VOLCANICAS

La volcanología tiene como objetivo principal la mitigación de las catástrofes. Su progreso se basa en un mejor conocimiento de los procesos eruptivos y en la eficaz detección de fenómenos precursores

Vicente Araña



La última erupción importante producida en nuestro planeta, iniciada en julio de 1995, sigue ejerciendo todavía efectos catastróficos en la isla caribe de Montserrat. Nubes de fuego gigantescas surgen del volcán y alcanzan la costa en pocos minutos arrasando cuanto encuentran a su paso. Las sucesivas explosiones forman columnas eruptivas cuyas cenizas son arrastradas por el viento hacia numerosas zonas de la isla, que quedan recubiertas por depósitos piroclásticos de gran espesor. Aunque la erupción ha provocado pocas víctimas mortales, la vida en Montserrat se ha trastornado totalmente ya que, además de su capital Plymouth, casi toda la parte sur de la isla también ha tenido que ser evacuada. En la isla quedan ahora menos de la mitad de los 12.000 habitantes que tenía antes de la erupción.

La erupción violenta de este volcán, aunque sin actividad en épocas históricas, era previsible en la misma medida que lo son muchos otros de la zona. Su Observatorio Volcanológico ha sido reforzado tras iniciarse la erupción, que actualmente es seguida con redes sísmicas y geodésicas. Para prevenir el desarrollo de estas erupciones hay que conocer el volumen de material que se va emitiendo, lo cual no es fácil cuando predominan los eventos explosivos y gran parte de los productos cae al mar. En Montserrat a fines de 1997 se estimaba en 232 millones de metros cúbicos el volumen de material volcánico, emitido a un ritmo de 5 metros cúbicos por segundo.

Ante el desencadenamiento de una fuerza de la naturaleza con sus secuelas de muerte y destrucción, nos sentimos impotentes. Pensemos en los huracanes o en las erupciones volcánicas. ¿No hay forma de prevenirlos? En el caso de las erupciones, ¿qué capacidad de respuesta tienen los volcanólogos? ¿De qué medios disponen?

No todos los volcanes son iguales. Cada región activa reclama unas medidas peculiares. Por otra parte, está la percepción y aceptación del riesgo que tenga la población que puede verse afectada por una catástrofe de origen volcánico. En la aceptación mayor o menor del riesgo volcánico, la economía desempeña un papel importante y especialmente, el concepto de "amortización". Para un inversor, que va a obtener importantes beneficios, es un riesgo aceptable construir en las faldas de un volcán cuya última erupción ocurrió hace decenas de años. La previsión de este inversor se basa simplemente en que amortizará su inversión, y obtendrá beneficios antes de la próxima erupción. Pero las autoridades responsables de la ordenación del territorio no deberán apoyarse en el mismo criterio y tendrán que prevenir a más largo plazo.

Aparentemente, la prevención de erupciones en lugares remotos tiene más interés académico que práctico. Nada menos cierto. A los directos efectos destructivos de la erupción en los aledaños del volcán hay que sumar los efectos indirectos, a menudo más dañinos que los de la propia erupción. Un ejemplo trágico fue la muerte de más de 20.000 personas en la colombiana Armero, a casi medio centenar de kilómetros de la boca eruptiva del Nevado del Ruiz. Una erupción moderada del volcán en 1985 provocó el deshielo en sus cumbres, generándose un laar, o corriente de lodo, que descendió velozmente por los valles y arrasó la villa. La posibilidad de este efecto indirecto estaba contemplada en los mapas de peligrosidad elaborados con antelación por los volcanólogos.

Las erupciones volcánicas importantes son estadísticamente eventos raros. En Canarias algunos estudios las sitúan —junto a los terremotos— en quinto lugar, después de los incendios forestales, riadas, temporales marinos y plagas de langosta. La Asociación Internacional de Volcanología ha seleccionado 15 volcanes en todo el mundo, para su estudio y vigilancia. Asimismo, la Unión Europea ha impulsado un importante programa en seis volcanes laboratorio europeos donde se están desarrollando nuevas metodologías de prevención y mitigación.

A raíz de la erupción del Santa Elena en 1980, la volcanología cobró nuevo impulso, insuficiente, sin embargo, para reducir los efectos catastróficos de las erupciones del Chichón, en México (2000 víctimas en el año 1982), Nevado del Ruiz en Colombia (20.000 en 1985) o del Lago Nyos, en Camerún (1700 en 1986), comparables

VICENTE ARAÑA es profesor de investigación, jefe del departamento de volcanología del Museo Nacional de Ciencias Naturales y coordinador de la Red de Investigación Volcanológica del CSIC. Pertenece a diversas sociedades internacionales sobre prevención de desastres.

con los efectos de erupciones ocurridas a principios de siglo: Mt. Pélee, en Martinica (29.000 en 1902), Sta. María en Guatemala (6000 en 1902) o Taal en Filipinas (1300 en 1911). La aparente paradoja obedece a una falta de coordinación entre los expertos y las administraciones. Cuando estos fallos no se producen, se han evitado o mitigado grandes desastres, como los que pudieron ocasionar las erupciones del Rabaul, en Nueva Guinea, el año 1994 y el Pinatubo, en Filipinas, el año 1991.

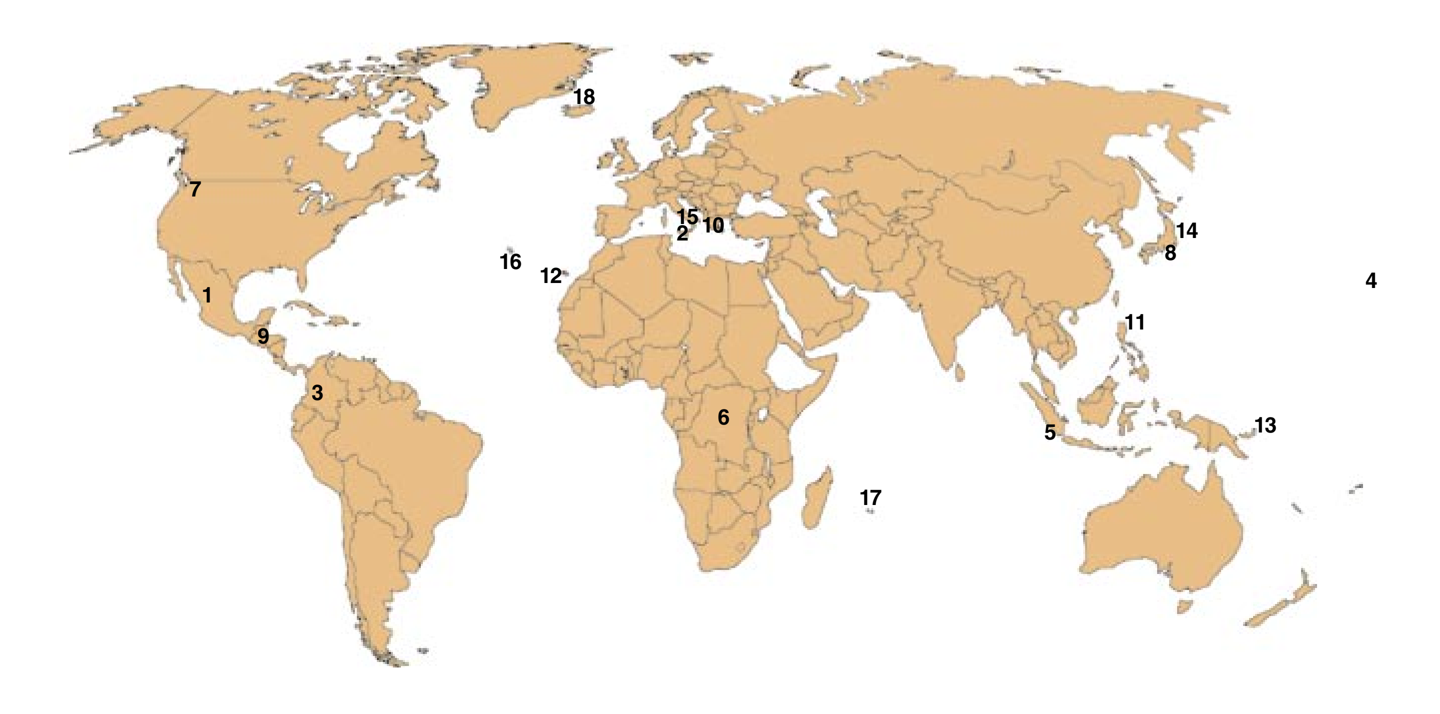
La volcanología mide las erupciones en términos de energía, estableciendo cierto paralelismo con las escalas de los terremotos. La capacidad destructiva de una erupción guarda relación con la energía liberada y la rapidez con que la libera. A los efectos de prevenir una erupción se distingue entre volcanismo de alto riesgo con violentos episodios explosivos y volcanismo más tranquilo y controlable, caracterizado por su baja explosividad y mayor efusión de coladas lávicas.

Las erupciones violentas implican un súbito desprendimiento de energía; los episodios explosivos son breves. En los volcanes efusivos, que arrojan gran cantidad de lava, la energía se desprende lentamente, por enfriamiento de las coladas que se han ido emitiendo de forma más o menos continua a lo largo de un período que puede durar muchos meses. De todos los volcanes del planeta, son muy pocos los que tendrán una erupción violenta en los próximos años.

El conocimiento de la historia eruptiva de la zona volcánica permite elaborar los mapas de peligrosidad, crear modelos y predecir la dispersión y espesor de los depósitos de cenizas en un episodio. Por desgracia, el investigador cuenta en muy pocas ocasiones con el registro histórico de las erupciones, es decir, con información escrita e incluso gráfica de erupciones precedentes que pudieran servir de orientación.

En toda América y en Canarias el registro histórico apenas tiene 500

1. DISTRIBUCION DE LAS VICTIMAS de desastres volcánicos. En amarillo se reflejan las bajas correspondientes a las dos erupciones más catastróficas de nuestro siglo.



Volcanes elegidos para ser objeto de estudio especial durante la Década Internacional para la Mitigación de los Desastres Naturales (1990-2000)		Volcanes Laboratorios Europeos
1. Colima, México	9. Santa María, Guatemala	2. Etna, Italia
2. Etna, Italia	10. Santorín, Grecia	10. Santorín, Grecia
3. Galeras, Colombia	11. Taal, Filipinas	12. Teide, España
4. Mauna Loa, EE.UU.	12. Teide, España	16. Furnas, Portugal
5. Merapi, Indonesia	13. Ulawun, Papúa Nueva Guinea	17. Piton de la Fournaise Francia
6. Niragongo, Zaire	14. Unzen, Japón	18. Krafla, Islandia
7. Rainer, EE.UU.	15. Vesubio, Italia	
8. Sakurajima, Japón		

años. Son escasas, pues, las erupciones bien descritas y sólo algunas de las últimas estaban vigiladas instrumentalmente. En Canarias, por ejemplo, la última erupción explosiva, en la zona del Teide, ocurrió hace 2000 años y todas las erupciones históricas son efusivas. Ni siquiera de la última erupción (volcán Teneguía en la isla de La Palma, año 1971) se tienen referencias instrumentales significativas.

Para conocer la actividad eruptiva anterior a la época histórica hay que acudir al registro geológico. El despertar de los volcanes es tanto más violento, cuanto más dilatado ha sido su período de reposo. La petrología y la geocronología nos ayudan a relacionar los períodos de actividad-reposo con ciclos evolutivos o de reinyección en la cámara magmática. Identificados esos ciclos, se pueden elaborar modelos de prevención del riesgo volcánico.

Los modelos numéricos parten de una simplificación del modelo físico del fenómeno, procesan parámetros característicos de la erupción esperada (intensidad, composición) y utilizan los datos del modelo digital del terreno (orografía, petrografía). Ha adquirido ya un alto nivel de fiabilidad la modelización de coladas lávicas; menos, la de flujos piroclásticos. La aplicación de los modelos de simulación numérica, acoplados al sistema de información geográfica, permite levantar mapas de riesgo. Sensores y sondas miden la actividad precursora.

El proceso eruptivo comienza cuando el magma inicia su ascenso. Los magmas basálticos, que se derraman en coladas lávicas, suelen acceder a la superficie directamente desde el manto superior, a varias decenas de kilómetros de profundidad. Los magmas riolíticos o fonolíticos, mucho más peligrosos, por su explosividad que genera columnas plineanas y nubes ardientes, proceden de cámaras magmáticas emplazadas pocos kilómetros por debajo de los grandes estratovolcanes.

La vigilancia de un volcán alimentado por una cámara somera, a cinco o siete kilómetros de profundidad, difiere de la seguida en una zona volcánica extensa, donde la erupción puede surgir en cualquier punto a través de una fractura que conecte la superficie con el manto subyacente unos 50-70 km.

A la vigilancia de sensores y antenas se suma la labor inspectora de los satélites, que detectan anomalías térmicas en la superficie y permiten el seguimiento de coladas. El satélite español Hispasat, por ejemplo, ha recibido datos de instrumentos de vigilancia volcánica instalados en Lanzarote, para trasmitirlos en tiempo real al Departamento de Volcanología del Museo Nacional de Ciencias Naturales, integrado en la Red de Investigación Volcanológica del CSIC.

En su ascenso hacia la superficie, el magma aprovecha las fracturas preexistentes o las abre. Estos esfuerzos

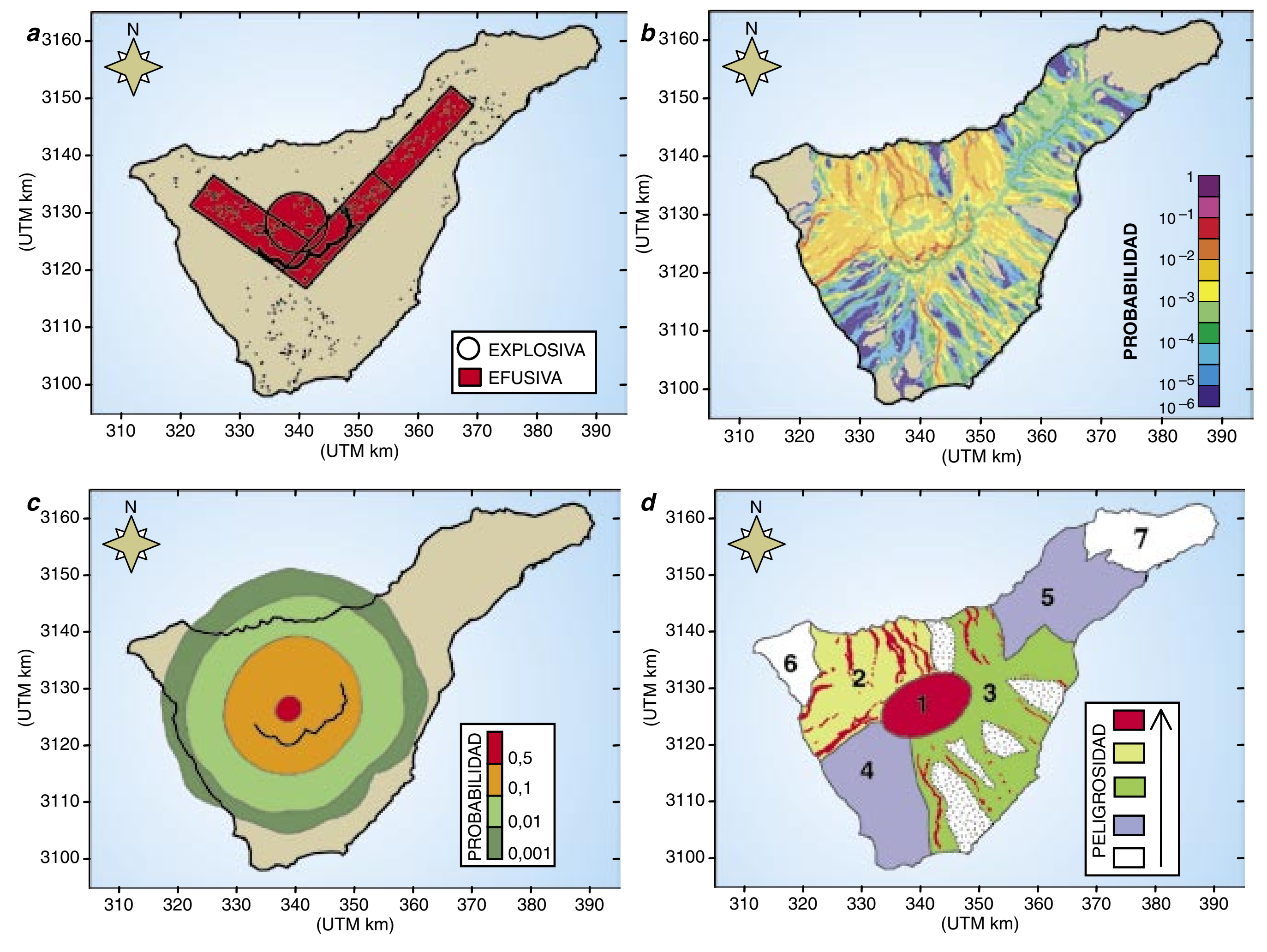
a los que se ven sometidas las rocas y la propia desgasificación del magma ascendente provocan una sismicidad característica. No es fácil interpretar los sismogramas resultantes, pues las franjas volcánicas y sísmicas coinciden. Además, los temblores volcánicos pueden originarse en procesos geotérmicos residuales de erupciones anteriores, como ocurre ahora en las Montañas de Fuego en Lanzarote.

No basta, pues, con la detección de los sismos volcánicos. Hemos de conocer también su profundidad y mecanismo desencadenante. Estos datos se recaban a través de una red de sismógrafos dotada con estaciones de tres componentes y banda ancha, dispuestas alrededor del volcán en varios círculos, y complementada con una red de acelerógrafos durante las crisis. En el reciente Proyecto Teide se ha sustituido la red de sismógrafos por un solo equipo capaz de localizar la profundidad y mecanismos focales.

Con todo, aumenta el convencimiento de que la eficacia de los sismos como precursores de erupciones es muy discutible. Son frecuentes las falsas alarmas de erupción desencadenadas por anomalías sísmicas y tampoco son raras las erupciones que no vienen precedidas por terremotos. Hoy se tiende a prestar mayor credibilidad a la deformación del terreno.



2. ARBOL DE PROBABILIDADES de evolución de la actividad eruptiva del volcán Popocatépetl, elaborado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de México, instituto que se ocupa de la vigilancia continua. La tendencia eruptiva actual es baja para una gran explosión plineana y media para que se produzcan explosiones moderadas, como las que ahora se están produciendo en sucesivas etapas de crecimiento de un domo alojado en el interior del cráter. En los últimos meses el Popocatépetl está manteniendo una actividad que ya ha producido caída de cenizas en la ciudad de México, a 90 kilómetros del volcán. En una de sus explosiones más fuertes, ocasionada el 30 de junio de 1997, lanzó cenizas a 12 kilómetros de altura, interrumpiendo el tráfico aéreo durante varias horas. Desde entonces se han intensificado las medidas preventivas, mejorando las vías de acceso y evacuación. También se ha instalado una red telefónica vía satélite en las comunidades más cercanas al volcán, ante la posibilidad de que se interrumpan las comunicaciones por cable.



3. MODELIZACION del efecto de erupciones teóricas en Tenerife (*b* y *c*). La ilustración (*b*) muestra los distintos niveles de peligro para los posibles caminos de coladas lávicas generadas en las zonas en rojo en la figura (*a*). La ilustración (*c*) ofrece la modelización de una teórica erupción moderadamente explosiva en Tenerife, mostrando la probabilidad de ser cubierto por más de 10 cm de ceniza según la distribución de vientos dominantes. De los resultados de las modelizaciones se elabora la zonación de la isla en función de la peligrosidad (*d*).

Es lógico que, en la vertical de un magma ascendente, se produzcan grietas y un abombamiento del terreno antes de que las lavas alcancen la superficie. Este fenómeno se aprecia a simple vista horas antes de la erupción; pero la deformación, a una escala mucho menor, comenzó casi en el instante en que el magma inició su empuje ascendente. La detección precoz de esas deformaciones micrométricas para asociarlas a otros precursores que puedan producirse simultáneamente ahorrará muchas vidas.

Para detectar las deformaciones se cuenta con redes geodésicas, extensómetros y clinómetros. Las redes están constituidas por pilares plantados en la base del volcán, sobre los que se realizan y enlazan medidas periódicas de altimetría y distanciometría. Para abarcar territorios más extensos, se recurre a geodesia por satélite. Los extensómetros y clinómetros, que miden deformaciones horizontales y basculamientos, requieren unas instalaciones muy estables en galerías o pozos. La vigilancia geodésica se completa con la instalación de mareógrafos en zonas próximas al mar o lagos.

El campo electromagnético terrestre experimenta una alteración local cuando los magmas, a elevadas temperaturas, rellenan cámaras someras o intruyen niveles superficiales. Lo mismo ocurre con el campo gravitatorio, pues la densidad del magma, que ocupa una cámara o un conducto, difiere de la densidad de la roca encajante. Cualquier modificación de estos parámetros, medida en superficie, será en principio un buen precursor. Para detectar tales anomalías deben realizarse campañas periódicas de electromagnetismo y microgravimetría.

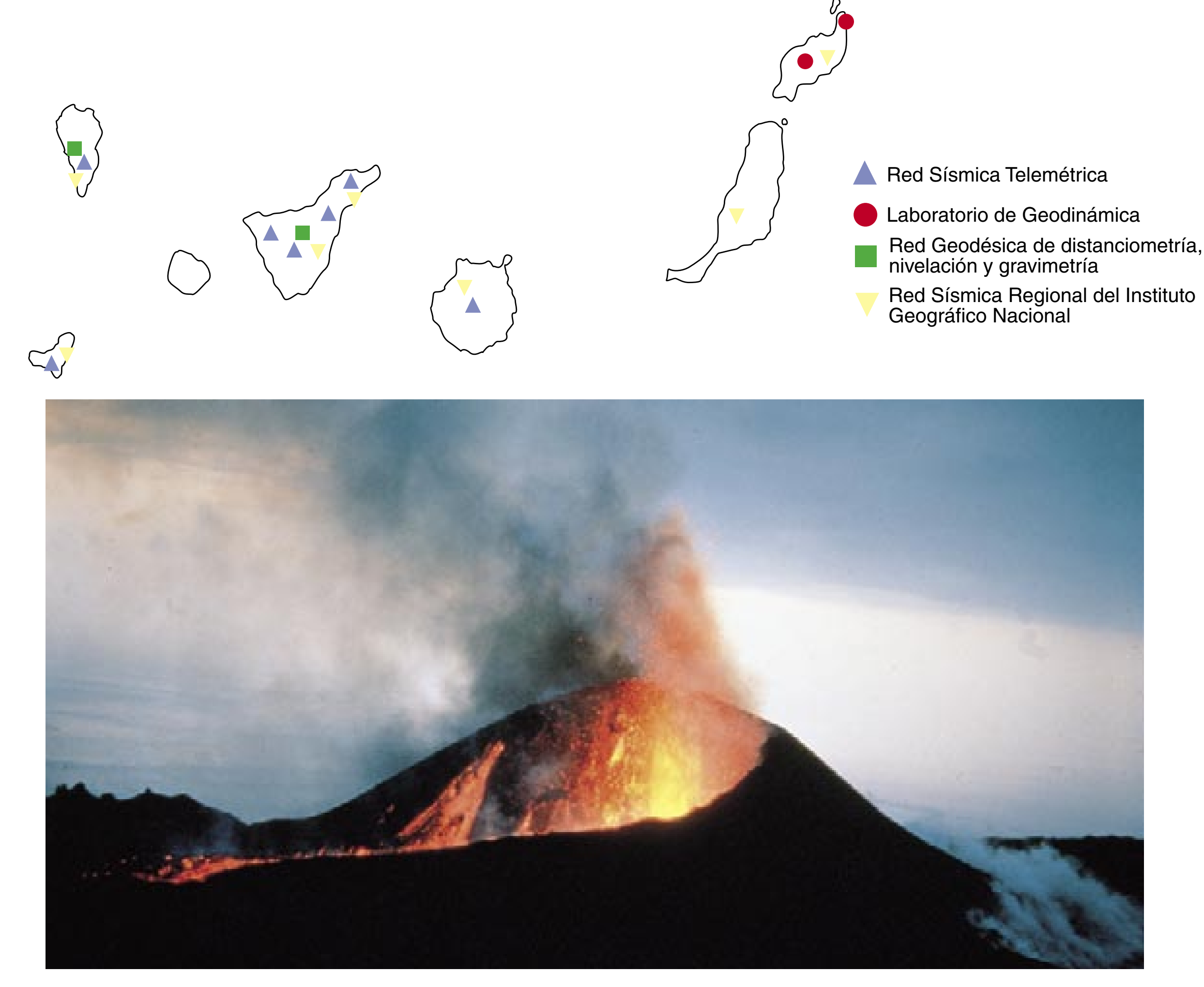
Entre los componentes del magma está una fase gaseosa, disuelta a grandes profundidades, que se nuclea en burbujas al disminuir la presión. La presencia de estas burbujas relaja la densidad del magma, facilitando su ascenso hidrostático. Una parte de estos gases puede desprenderse del fundido y alcanzar la superficie, incluso antes de que inicie su ascenso desde cámaras someras. La detección de esta fase gaseosa es, por tanto, fundamental si procede de un magma en vías de erupción. Pero en las zonas volcánicas el escape de gases profundos es casi constante. No basta una simple variación de volumen para anunciar un proceso eruptivo en marcha. Más importante es detectar las variaciones, incluso isotópicas, que se produzcan en el equilibrio alcanzado por los distintos componentes de la fase gaseosa.

Red de Vigilancia de la Actividad Volcánica en Canarias

La vigilancia de la actividad volcánica en Canarias reviste particular dificultad porque se dan simultáneamente los dos tipos de volcanismo, el "explosivo-violento" y el "efusivo-tranquilo". El volcán Teide ha tenido erupciones explosivas violentas hasta épocas recientes, mientras que el resto del Archipiélago y la propia isla de Tenerife se caracterizan por un volcanismo efusivo. Tampoco hay homogeneidad en este último tipo, pues si bien la mayoría de las erupciones históricas (siete en La Palma, cuatro en Tenerife y dos en Lanzarote) han durado pocas semanas y arrojado poco volumen de lava, las erupciones de Timanfaya en Lanzarote se prolongaron varios años, entre 1730 y 1736, emitiendo 1 kilómetro cúbico de lava.

El sistema de vigilancia diseñado contempla una estructura específica para el Teide y otra para el conjunto del archipiélago, con especial atención a las islas de La Palma (con erupciones en 1949 y 1971) y Lanzarote (donde se mantienen anomalías térmicas residuales). En el mapa se indica la infraestructura de vigilancia que mantiene la Red de Investigación Volcanológica del CSIC en colaboración con la Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente del Gobierno Canario. La instrumentación consta de siete estaciones de una Red Sísmica Telemétrica en las islas centrales y occidentales; dos módulos del Laboratorio de Geodinámica de Lanzarote —con clinómetros, extensómetros, mareógrafos, sismógrafos, magnetómetros y termómetros—; dos redes geodésicas de distanciometría, nivelación y gravimetría en Las Cañadas del Teide y otra red GPS en La Palma. También se incluye la red sísmica regional del Instituto Geográfico Nacional.

Existe otro equipamiento de investigación de varios organismos, que podría utilizarse en tareas de vigilancia, si fuese necesario. En este sentido destacan las estaciones magnéticas y los mareógrafos del Instituto Geográfico Nacional, así como sus equipos portátiles y los del CSIC, teniendo singular importancia todo el equipamiento internacional del Laboratorio de Geodinámica que gestiona el Instituto de Astronomía y Geodesia del CSIC en Lanzarote. La geoquímica de gases está centrada básicamente en las fumarolas del cráter del Teide, que son las únicas activas en el archipiélago. Estas fumarolas y otras emanaciones gaseosas en Canarias han sido analizadas esporádicamente por varios grupos de trabajo, aunque recientemente se ha planteado su vigilancia sistemática por el Instituto Tecnológico de Energías Renovables del Cabildo de Tenerife.



Volcán de Teneguía, en la isla de La Palma, 1971.



4. EL LLAIMA es uno de los mayores y más activos volcanes de Chile. En sus flancos hay casi medio centenar de conos de escoria y su caldera, de 8 kilómetros de diámetro, se formó hace unos 13.000 años con explosiones que arrojaron 23 kilómetros cúbicos de piroclastos. El registro histórico desde el siglo XVII indica frecuentes, aunque moderadas, erupciones explosivas con flujos ocasionales de lava. Este volcán chileno junto a otros igualmente activos en la zona, como Peteroa, Copahue, Villarrica, Osorno, Calbuco y Hudson, situados entre los 35º y 42º de latitud S, están sometidos a vigilancia por el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur.



5. EL TEIDE (3715 m) es un estratovolcán, surgido en el borde norte de la gran caldera de las Cañadas en Tenerife. La última actividad explosiva ocurrió hace 2000 años, con la erupción subplineana de Montaña Blanca.

En volcanes de difícil acceso y que presentan una emisión gaseosa importante, se utilizan instrumentos que examinan las franjas de absorción debidas a la presencia de determinados gases de la luz solar difusa. Pese al progreso de esta técnica, todavía los instrumentos de medida (COSPEC) sólo permiten determinar con precisión los compuestos de azufre. La vigilancia geoquímica se extiende a las variaciones en temperatura y composición de manantiales y aguas subterráneas contaminadas por los gases que, escapados del magma, se difunden en el subsuelo. Una vez iniciada la erupción es todavía más importante identificar sus fases gaseosas por el peligro que puede significar su dispersión a favor del viento o su acumulación en hondonadas.

La mayoría de las víctimas ocasionadas por erupciones volcánicas en este siglo se han producido en dos ciudades, en Saint Pierre, de la Martinica, y Armero. Se trataba de ciudades pequeñas, donde perecieron casi todos sus habitantes. Pero hay muchos núcleos de población importantes con un alto riesgo: Nápoles, Roma, Managua, San Salvador, Ciudad de Guatemala, Quito, Pasto, Ciudad de México, Seattle, Petropaulovsk y varias grandes ciudades en Japón, Indonesia, Nueva Guinea, Filipinas o Nueva Zelanda. Pese a ello, no hay todavía ningún país que disponga de mapas de riesgo volcánico con planes de vigilancia y prevención integrados en Sistemas de Información Geográfica (GIS). En las Islas Canarias se están elaborando estrategias para mitigar el riesgo volcánico sobre GIS, pero queda mucho camino por andar.

Ante la reciente actividad del volcán Popocatépetl, se ha desarrollado en México un Código de Alerta para determinar el momento y las acciones de protección civil que habrán de realizar las autoridades, los grupos de auxilio y la población que vive en las cercanías del volcán. Dicho código se tradujo en el "Semáforo de Alerta Volcánica", con la finalidad de dar información a la población en la zona de riesgo. Este sistema del Semáforo (colores verde, amarillo y rojo) es muy simple y eficaz; en otros se opta por graduar la severidad de la emergencia utilizando números correlativos (1 a 3 por ejemplo), definiendo las fases anteriores como de seguimiento (normalidad) y preemergencia (alerta).

Llegado el momento, la construcción de barreras que retengan o desvíen las coladas lávicas o los laares se han mostrado eficaces en el curso de procesos eruptivos en el Etna y Hawai. En zonas de frecuentes laares, como en el Japón, estas estructuras o "sabos" se construyen y mantienen operativas aunque no exista la inminencia de una erupción.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

LA VOLCANOLOGÍA ACTUAL. Dirigido por V. Araña y J. Martí. Serie Nuevas Tendencias, n.º 21. Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1993.

RIESGO VOLCÁNICO. Dirigido por R. Ortiz. Serie Casa de Los Volcanes, n.º 5. Cabildo de Lanzarote, 1996.

MONITORING AND MITIGATION OF VOLCANO HAZARS. R. Scarpa y R. Tilling. Springer Verlag, 1997.

Gödel y los límites de la lógica

Kurt Gödel, genio de la matemática, se consagró en su obra a la racionalidad. Paradojas de la vida, tuvo que luchar con ésta en su intimidad

John W. Dawson, Jr.

Ante el encerado, Kurt Gödel tiene un aspecto formal, reservado y un tanto desnutrido. Pero ni ese rostro ni los escritos han calado en el público, si exceptuamos un puñado de filósofos y lógico-matemáticos. De sus teoremas de incompletitud derivan consecuencias decisivas para los fundamentos de las matemáticas y de las ciencias de la computación. Su peripecia vital y su obra responden a una tenaz búsqueda de la racionalidad en todo. Un ansia que deja al descubierto el trasfondo recurrente de una inestabilidad mental.

Gödel demostró que los métodos matemáticos aceptados desde tiempos de Euclides eran inadecuados para descubrir todas las verdades relativas a los números naturales. Su descubrimiento minó los fundamentos sobre los que se había construido la matemática hasta el siglo XX, acicateó a los pensadores para buscar otras posibilidades y engendró un vivaz debate sobre la naturaleza de la verdad. Las innovadoras técnicas de Gödel, aplicables sin dificultad en algoritmos de cómputo, echaron también los cimientos de las ciencias de computación modernas.

Nacido el 28 de abril de 1906 en Brno, ciudad de Moravia, Gödel fue el menor de los dos hijos de Rudolf y Marianne Gödel, expatriados alemanes cuyas familias estuvieron asociadas con la industria textil de la ciudad. Entre los antepasados de Gödel no encontramos profesores ni intelectuales; la educación de su padre no fue más allá de estudios de comercio. Pero Rudolf Gödel, ambicioso y tenaz, logró salir adelante, llegando a director gerente primero, y a copropietario más tarde, de una de las grandes fábricas de hilaturas de Brno. Ganó dinero suficiente para comprar una casa en uno de los barrios elegantes y enviar a sus hijos a escuelas privadas de habla alemana. Los chicos lograron excelentes resultados en sus estudios.

En toda su trayectoria escolar, primaria y secundaria, sólo una vez recibió Kurt una calificación inferior a la máxima en una asignatura (¡en matemáticas!). Pero no mostraba signos precoces de genialidad. Era un niño inquisitivo, tanto, que fue apodado *der Herr Warum* ("el señor Por qué"); también, introvertido, sensible y enclenque. A eso de los ocho años contrajo unas fiebres reumáticas. Aunque al parecer no le dejaron secuelas duraderas, le mantuvieron apartado de la escuela por algún tiempo; quizás alentaron su enfermiza preocupación por la salud y la dieta, que se fue reforzando con los años.

En 1924, tras graduarse en el *Realgymnasium*, una escuela técnica de Brno, Gödel abandonó su país natal para matricularse en la Universidad de Viena. A ese centro había acudido, cuatro años antes, su hermano para estudiar medicina. La economía vienesa se encontraba por entonces en ruinas. La universidad, empero, retenía su viejo esplendor. Gracias a ella, a pesar de las privaciones materiales, Viena dio cobijo en el período de entreguerras a un impresionante florecimiento de las ciencias, las artes y la filosofía.

Gödel ingresó en la universidad con la intención de seguir la carrera de física. Pero al poco, impresionado por las lecciones de los profesores Philipp Furtwängler y Hans Hahn, se orientó hacia la matemática. Muy pronto destacó por su talento. A los dos años de su matriculación fue invitado a asistir a las sesiones de un seminario de debates que Hahn y el filósofo Moritz Schlick habían fundado dos años antes. El grupo, que llegaría a ser famoso con el nombre de Círculo de Viena, se inspiraba en los escritos de Ernst Mach, un campeón del racionalismo, convencido de que todas las cosas podían explicarse mediante la lógica y la observación empírica, sin recurrir a entidades metafísicas.

El Círculo puso a Gödel en contacto con Rudolf Carnap, filósofo de la ciencia, y Karl Menger, matemático. Le ayudó a familiarizarse con la bibliografía de la lógica matemática y de la filosofía. En particular, el Círculo se hallaba enfrascado en los escritos de Ludwig Wittgenstein, cuya preocupación por el metalenguaje (en qué medida el lenguaje puede hablar acerca del lenguaje) pudo haber inducido a Gödel a sondear cuestiones similares en matemática. Algunos de los miembros del Círculo, entre ellos Carnap, Hahn y el físico Hans Thirring, estaban investigando los fenómenos parapsicológicos, asunto por el que también Gödel mostraba agudo interés. (Años más tarde, Gödel le haría notar a un amigo íntimo, el economista Oskar Morgenstern, que en el futuro sería tenido por fenómeno extraño que los científicos del siglo XX hubieran descubierto las partículas físicas elementales y ni siquiera se les hubiera ocurrido considerar la posibilidad de factores psíquicos elementales.)

Gödel, sin embargo, no compartía la visión positivista del Círculo de Viena, que desarrolló y generalizó las ideas de Mach. Era, por contra, un platónico, convencido de que, además del mundo de los objetos, existe un mundo de conceptos al que los humanos tienen acceso por intuición.

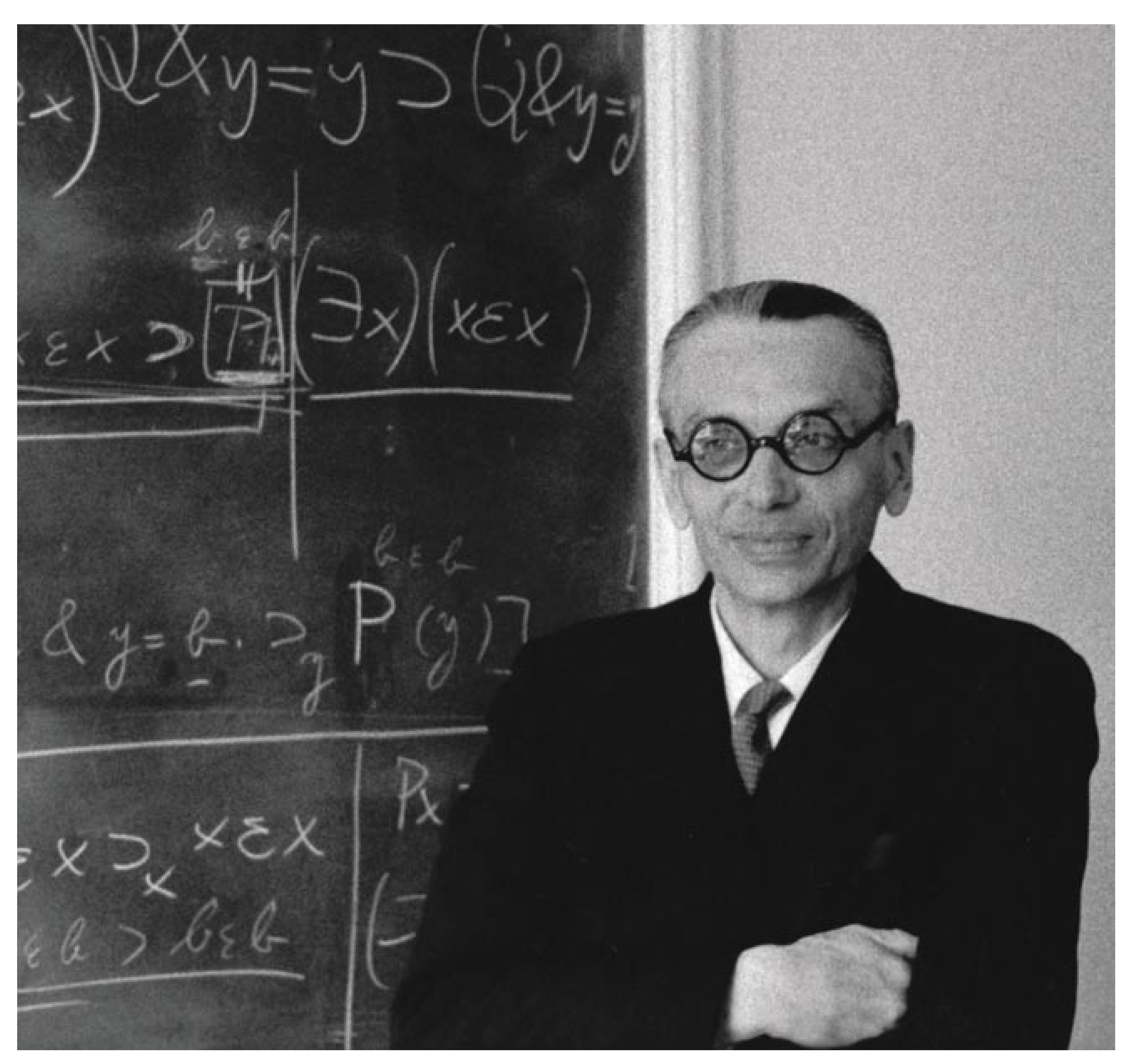
JOHN W. DAWSON, Jr., doctor en lógica y profesor de matemática en la Universidad estatal de Pennsylvania en York, tiene a su cargo la coedición de las obras de Kurt Gödel.

Para él, un enunciado debía tener un "valor de verdad" bien definido —ser verdadero o no serlo— tanto si había sido demostrado como si era susceptible de ser refutado o confirmado empíricamente. Desde su propio punto de vista, tal filosofía constituía una ayuda para su excepcional penetración en las matemáticas.

Aunque Gödel era un observador atento y muy lúcido, rara vez contribuía a las discusiones del Círculo, a menos que tratasen de matemáticas. Tímido y reservado, tenía pocos amigos íntimos. (Le agradaba, sin embargo, la compañía femenina y, según parece, las mujeres le encontraban francamente atractivo.) Después de 1928 sólo en raras ocasiones asistía a las reuniones del grupo; en cambio, participaba activamente en un coloquio matemático organizado por Menger. Las actas del coloquio se publicaban en un anuario, que Gödel ayudaba a redactar, y al que posteriormente habría de contribuir con más de una docena de artículos.

Durante este período, Gödel adquirió súbitamente estatura internacional en lógica matemática. Dos fueron, en particular, las publicaciones responsables de su prominencia. Una de ellas, su tesis doctoral, presentada en Viena en 1929, y publicada al año siguiente. La otra, su tratado "Sobre las proposiciones formalmente indecidibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines", publicada en alemán en su *Habilitationsschrift* (la memoria de cualificación para el ejercicio de la docencia universitaria) en 1932.

En su tesis doctoral, "La completitud de los axiomas del cálculo funcional de primer orden", resolvía un problema pendiente, que David Hilbert y Wilhelm Ackermann habían planteado en un libro que



1. KURT GÖDEL demostró que los sistemas matemáticos son esencialmente incompletos: no se puede demostrar que sea verdadero todo cuanto lo es. Más avanzada su vida, volvió la atención hacia otros problemas; entre ellos, la teoría de la relatividad. Esta fotografía fue tomada en mayo de 1958, en el despacho de Gödel en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, por el lógico finlandés Veli Valpola.



2. KURT (*derecha*) y su hermano Rudolf siguieron caminos muy distintos. Esta fotografía de estudio fue tomada alrededor de 1908.

escribieron conjuntamente en 1928, *Grundzüge der theoretischen Logik* (“Fundamentos de Lógica Teórica”). La cuestión consistía en si las reglas al uso, enunciadas en el libro, para la manipulación de expresiones que contengan conectivas lógicas (“y”, “o”, y similares) y cuantificadores (“para todo” y “existe”, aplicadas a variables que recorren números o conjuntos) permitirían, adjuntados a los axiomas de una teoría matemática, la deducción de todas y sólo todas las proposiciones que fueran verdaderas en cada estructura que cumpliera los axiomas. En lenguaje llano, ¿sería realmente posible demostrar todo cuanto fuera verdadero para todas las interpretaciones válidas de los símbolos?

Se esperaba que la respuesta fuese afirmativa, y Gödel confirmó que así era. Su disertación estableció que los principios de lógica desarrollados hasta aquel momento eran adecuados para el propósito al que estaban destinados, que consistía en demostrar todo cuanto fuera verdadero basándose en un sistema dado de axiomas. No demostraba, sin embargo, que todo enunciado verdadero referente a los números naturales pudiera demostrarse a partir de los axiomas aceptados de la teoría de números.

Entre dichos axiomas, propuestos por el matemático italiano Giuseppe Peano en 1899, figura el principio de inducción. Este axioma afirma que cualquier propiedad que sea verdadera para el número cero, y que se cumpla para el número natural $n+1$ siempre que sea verdadera para n, tiene que ser verdadera para todos los números naturales. El axioma, al que algunos llaman “principio dominó” —porque si cae el primero, caerán derribados todos los demás— podría parecer evidente por sí mismo. Sin embargo, los matemáticos lo encontraron problemático, porque no se circunscribe a los números propiamente dichos, sino a propiedades de los números. Se consideró que tal enunciado de “segundo orden” era demasiado vago y poco definido para servir de fundamento a la teoría de los números naturales.

Por tal motivo, se refundió el axioma de inducción y se le dio la forma de un esquema infinito de axiomas similares concernientes a fórmulas específicas, en vez de referirse a propiedades generales de los números. Pero estos axiomas ya no caracterizan unívocamente a los números naturales, como demostró el lógico noruego Thoralf Skolem algunos años antes del trabajo de Gödel: existen también otras estructuras que los satisfacen.

El teorema de completitud de Gödel enuncia que es posible demostrar todos aquellos enunciados que se siguen de los axiomas. Existe, sin embargo, una dificultad: si algún enunciado fuese verdadero para los números naturales, pero no lo fuese para otro sistema de entidades que también satisface los axiomas, entonces no podría ser demostrado. Ello no parecía constituir un problema serio, porque los matemáticos confiaban en que no existieran entidades que se disfrazasen de números para diferir de ellos en aspectos esenciales. Por este motivo, el teorema de Gödel que vino a continuación provocó una auténtica conmoción.

En su artículo de 1931, Gödel demostraba que ha de existir algún enunciado concerniente a los números naturales que es verdadero, pero no puede ser demostrado. (Es decir, que existen objetos que obedecen a los axiomas de la teoría de números y, no obstante, en otros aspectos dejan de comportarse como números.) Se podría eludir este “teorema de incompletitud” si todos los enunciados verdaderos fueran tomados como axiomas. Sin embargo, en ese caso, la decisión de si ciertos enunciados son verdaderos o no se torna problemática *a priori*. Gödel demostró que siempre que los axiomas puedan ser caracterizados por un sistema de reglas mecánicas, resulta indiferente cuáles sean los enunciados tomados como axiomas. Si son verdaderos para los números naturales, algunos otros enunciados verdaderos acerca de los números naturales seguirán siendo indemostrables.

En particular, si los axiomas no se contradicen entre sí, entonces, ese hecho mismo, codificado en enunciado numérico, será “formalmente indecidible” —esto es, ni demostrable ni refutable— a partir de dichos axiomas. Cualquier demostración de consistencia habrá de apelar a prin-

cipios más fuertes que los propios axiomas.

Este último resultado apenó muchísimo a Hilbert, quien había contemplado un programa para fijar los fundamentos de las matemáticas por medio de un proceso "autoconstructivo", mediante el cual la consistencia de teorías matemáticas complejas pudiera deducirse de la consistencia de otras teorías más sencillas y evidentes. Gödel, por otra parte, no consideraba que sus teoremas de incompletitud demostrasen la inadecuación del método axiomático, sino que hacían ver que la deducción de teoremas no puede mecanizarse. A su modo de ver, justificaban el papel de la intuición en la investigación matemática.

Los conceptos y los métodos introducidos por Gödel en su artículo sobre la incompletitud desempeñan un papel central en la teoría de recursión, que subyace a toda la informática moderna. Generalizaciones de sus ideas han permitido la deducción de diversos otros resultados relativos a los límites de los procedimientos computacionales. Uno de ellos es la irresolubilidad del "problema de la detención", que consiste en decidir, para un ordenador arbitrario provisto de un programa y de unos datos arbitrarios, si llegará a detenerse o si quedará atrapado en un bucle infinito. Otra es la demostración de que ningún programa que no altere el sistema operativo de un ordenador será capaz de detectar todos los programas que sí lo hagan (virus).

Gödel pasó el año académico 1933-34 en Princeton, en el recién fundado Instituto de Estudios Avanzados, donde disertó sobre sus resultados de incompletitud. Fue invitado a volver al año siguiente, pero al poco de regresar a Viena sufrió una grave crisis mental. Se recuperó a tiempo para retornar a Princeton en el otoño de 1935; al mes de su llegada sufrió una recaída, y no volvió a impartir enseñanza hasta la primavera de 1937, en Viena.

Por ser confidencial el historial médico de Gödel, la diagnosis de su mal sigue siendo desconocida. Sus problemas parecen haber comenzado con hipocondría: estaba obsesionado por su dieta y por sus hábitos intestinales. Durante veinte años llevó un registro diario de su temperatura corporal y de su consumo de leche de magnesia. Temía sufrir un envenenamiento accidental; con los años, le aterraba ser objeto de una intoxicación deliberada. Esta fobia le llevó a no querer tomar alimentos, con la consiguiente desnutrición. Lo que no le impedía ingerir píldoras de diversa condición para un imaginario problema cardíaco.

Salvo en los momentos de crisis, los problemas mentales de Gödel entorpecieron muy poco su trabajo. La persona que le mantuvo en activo fue Adele Porkert, a quien conoció en un local nocturno de Viena durante sus años de estudiante. Porkert, seis años mayor que Gödel, católica y divorciada, con el rostro desfigurado por una "flor" de nacimiento, trabajaba de bailarina. Los padres de Gödel la tenían por motivo de escándalo. Pero ellos no desmayaron en su mutuo afecto, y más de una vez, sirviéndole de catadora de alimentos, Adele contribuyó a paliar los temores de Gödel, cada vez más fuertes, de que buscaban envenenarle. Tras un largo noviazgo, se casaron en septiembre de 1938, justo antes de que Gödel retornase a los Estados Unidos, donde disertó en el Instituto de Estudios Avanzados y en la Universidad de Notre Dame sobre los apasionantes resultados que había obtenido en teoría de conjuntos.

Tal logro entrañaba la resolución de algunos de los aspectos más controvertidos de la teoría de colecciones de objetos. A finales del siglo XIX, el matemático alemán Georg Cantor había introducido la noción de tamaño ("cardinal") para conjuntos infinitos. Según tal concepto, un conjunto A tiene menor cardinal que un conjunto B si, cualquiera que sea la forma en que a cada elemento de A otro le sea asignado de B, quedan siempre elementos de B que



3. ADELE PORKERT y Gödel formaron una pareja inverosímil, que se profesó gran devoción. Esta fotografía, tomada en la terraza de un café de Viena, corresponde al período de su prolongado noviazgo. Porkert protegió a Gödel de lo peor de sus irracionales temores. Ella fue, más que nadie, la responsable de mantenerle vivo y productivo.

no tienen correspondiente. Valiéndose de esta noción, Cantor demostró que el conjunto de los números naturales es menor que el conjunto de todos los números reales (el conjunto de todos los números decimales). Cantor conjeturó también que entre un conjunto y otro no existen conjuntos de tamaño intermedio, enunciado que llegó a ser conocido como la hipótesis del continuo.

En 1908, Ernst Zermelo formuló una lista de axiomas para la teoría de conjuntos. Entre ellos se contaba el axioma de elección, el cual (en una de sus versiones) afirma que dada una colección infinita de conjuntos disjuntos, cada uno de los cuales contiene al menos un elemento, existe un conjunto que contiene exactamente un elemento de cada uno de los conjuntos de la colección. Aunque su aspecto parece incuestionable —¿por qué no habríamos de ser capaces de extraer un elemento de cada conjunto?— el axioma de elección entraña un multitud de consecuencias contrarias a la intuición. De él se deduce, por ejemplo, la posibilidad de descomponer una esfera en un número finito de piezas, que separadas y vueltas a ensamblar aplicando tan sólo movimientos rígidos, formen una nueva esfera de volumen doble que la primera.

El axioma de elección desencadenó la polémica. Los matemáticos sospechaban —correctamente, como luego se vería— que ni el axioma de elección ni la hipótesis del continuo podían deducirse de los otros axiomas de la teoría de conjuntos. Y temían que las demostraciones fundadas en dichos principios pudieran generar contradicciones. Gödel, sin embargo, demostró que ambos principios eran coherentes con los restantes axiomas.

Los resultados de Gödel en teoría de conjuntos resolvieron una de las cuestiones que Hilbert había planteado en 1900 en una alocución célebre pronunciada en el Congreso Internacional de Matemáticas. Sólo por ello constituían un gran logro; no bastaron, empero, para asegurarle un puesto académico permanente. Durante el año que pasó en el Instituto de Estudios Avanzados y en Notre Dame, expiró su autorización para la docencia en las universidades austríacas. Y cuando volvió a Viena para reunirse con su esposa, en el verano de 1939, fue reclamado para un reconocimiento médico militar y declarado apto para el servicio en las fuerzas armadas nazis.

Hasta entonces, Gödel parecía haber permanecido indiferente ante los pavorosos acontecimientos que se estaban produciendo en Europa. Aunque interesado por la política, e informado de los acontecimientos, permaneció curiosamente insensible ante ellos. Su falta de compromiso con sus semejantes pudo haberle impedido apreciar la gravedad de lo que estaba ocurriendo. Parecía ajeno a la suerte que estaban corriendo sus colegas y sus profesores, judíos muchos de ellos, y siguió sumido en su trabajo mientras el mundo que le rodeaba se hacía pedazos. Por fin, acabó comprendiendo que con el mundo que se hundía también se estaba hundiendo él.

En aquella situación desesperada, sin empleo y a punto de ser reclutado, solicitó el apoyo del Instituto de Estudios Avanzados para que le ayudaran a obtener visados de salida para sí mismo y para su mujer. Sus esfuerzos tuvieron éxito. En enero de 1940 ambos emprendieron un largo viaje hacia el este en el ferrocarril transiberiano. Desde Yokohama continuaron por barco hasta San Francisco.

Proposiciones indecidibles

La más famosa de las contribuciones de Gödel ha sido la demostración de que existen enunciados concernientes a los números naturales que son verdaderos, pero indemostrables. Pese a una larguísima serie de intentos de descubrir enunciados que sean indecidibles —es decir, ni demostrables ni refutables—, sólo se han logrado ejemplos muy sencillos. Uno de ellos es el aserto siguiente:

Este enunciado es indemostrable

El enunciado anterior se puede codificar y transformar en una igualdad entre números, según una fórmula ideada por Gödel. Esa igualdad no es demostrable; por consiguiente, afirma el significado del aserto escrito en español. Sin embargo, eso significa que el aserto es verdadero.

Tenemos un ejemplo menos trivial con ecuaciones polinómicas. Se puede enunciar, por ejemplo, que una cierta ecuación polinómica no tiene soluciones que sean números enteros. Tales enunciados pueden resultar indecidibles.

La demostración de Gödel puso de manifiesto que los axiomas de la teoría de números son incompletos. Es decir, existen enunciados verdaderos concernientes a los números naturales que no pueden ser demostrados a partir de dichos axiomas. El razonamiento de Gödel entraña la existencia de "números no estándar", entidades que obedecen a los axiomas antedichos, pero que poseen algunas propiedades distintas de las de los números naturales. Dado que todo cuanto es demostrado a partir de los axiomas (*en rojo*) tiene que ser válido para todos los entes que cumplan los axiomas, ciertos enunciados verdaderos acerca de los números naturales (*azul, verde* y *rojo*) tienen que ser indemostrables (*azul* y *verde*). *—J.W.D.*





4. LOS PASEOS CON ALBERT EINSTEIN por el recinto ajardinado del Instituto de Estudios Avanzados fueron parte de la rutina que mantuvo a Gödel en activo. Esta fotografía data de 1954.

Llegaron a Princeton a mediados de marzo.

Gödel ya no volvería a salir de los Estados Unidos. Tras una serie de nombramientos anuales se le admitió como miembro permanente del claustro en 1946. Dos años después obtuvo la ciudadanía estadounidense. (En aquella ocasión, el juez que le tomó juramento cometió el desafortunado error de pedirle su opinión sobre la Constitución de los EE.UU., y desencadenó como respuesta una disertación en toda regla sobre sus contradicciones.) Pero Gödel no fue ascendido a catedrático hasta 1953, el mismo año en que fue elegido miembro de la Academia Nacional de Ciencias. Tal demora se debió, en parte, a las dudas que planteaba su estabilidad mental con sus constantes temores sobre posibles emanaciones de gases tóxicos en su refrigerador. Durante aquellos años, su amigo Albert Einstein se preocupó de Gödel lo más que pudo; todos los días daban un paseo.

Tras su emigración a los EE.UU., abandonó el trabajo en teoría de conjuntos y se orientó hacia la filosofía y hacia la teoría de la relatividad. En 1949 demostró que eran compatibles con las ecuaciones de Einstein universos donde se pudiera viajar retrógradamente en el tiempo. En 1950 disertó sobre estos resultados en el Congreso Internacional de Matemáticos, y al año siguiente pronunció la prestigiosa Disertación Gibbs en la asamblea anual de la Sociedad Matemática Americana. Pero en el intervalo entre estas dos intervenciones públicas estuvo a punto de morir por una úlcera sangrante, que descuidó hasta un estadio peligrosamente avanzado, tal era la desconfianza que sentía hacia los médicos.

El último de su artículos publicados en vida apareció en 1958. Después, se sumió en la introversión, cada vez más demacrado, paranoide e hipocondríaco. Su última aparición pública aconteció en 1972, al recibir un doctorado honorífico por la Universidad Rockefeller. Tres años después le fue otorgada la Medalla Nacional de Ciencias, pero Gödel disculpó su asistencia por razones de salud.

El 1 de julio de 1976, alcanzados los 70 años, edad de jubilación obligatoria, Gödel se convirtió en profesor emérito del Instituto. Sus responsabilidades, empero, no disminuyeron, porque su esposa, que durante tantos años le había alimentado y protegido, había sufrido pocos meses antes un ataque cardíaco que la dejó inválida. Ahora le correspondía a él cuidarla. Y así lo hizo, con devoción, hasta julio de 1977, cuando ella hubo de someterse a una operación de urgencia y permaneció hospitalizada durante casi seis meses.

Por aquellas fechas, Morgenstern, el amigo que había contribuido a cuidar de Gödel tras fallecer Einstein en 1955, murió de cáncer. Gödel tuvo entonces que luchar por sí solo contra su cada vez más acusada paranoia. Solo frente a ella, su declive entró en barrena. Temeroso de ser envenenado dejó de comer y acabó muriendo por desnutrición el 14 de enero de 1978.

Gödel publicó excepcionalmente poco en vida —menos que ninguno de los otros grandes matemáticos, si se exceptúa a Bernhard Riemann—, pero la influencia de sus escritos ha sido enorme. Sus trabajos han afectado prácticamente a todas las ramas de la lógica moderna. Durante el decenio pasado, otros artículos suyos han sido traducidos desde la obsoleta taquigrafía alemana que él utilizaba, y publicados póstumamente en el tercer volumen de sus *Collected Works*. Sus contenidos, entre los que figura su formalización del argumento ontológico de la existencia de Dios, han empezado también a llamar la atención.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

COLLECTED WORKS. Vols. 1-3. Kurt Gödel. Edición de Solomon Feferman et al. Oxford University Press, 1986, 1990, 1995.

LOGICAL DILEMMAS: THE LIFE AND WORK OF KURT GÖDEL. John W. Dawson, Jr. A. K. Peters Ltd., Wellesley, Mass. 1997.

GÖDEL, ESCHER, BACH: AN ETERNAL GOLDEN BRAID. Douglas R. Hofstadter. Basic Books, 1979, 1999. Hay traducción española.





En busca del murciélago fantasma

En ríos de la selva de Belice, dos zoólogos captan gritos ultrasónicos que permiten identificar las especies de quirópteros. ¿A cuál pertenecerá un murciélago fantasma?



Glenn Zorpette

Fotografías de Steve Winter

A la izquierda del esquife, tras los manglares ribereños, la espesa jungla de Belice forma una masa negra y compacta bajo un cielo sin luna y estrellado. En el aire frío, cierto regusto salado nos dice que al frente, no muy lejos, se encuentra la desembocadura del río Sarstoon, con sus bajos traidores y su laberinto de trasmallos. A la derecha del bote, las luces amarillas, mortecinas, de las chozas de pesca semejan luciérnagas en su parpadeo.

En el centro del bote abierto, a pocos metros del motor fueraborda, Bruce W. Miller enciende su linterna. Rasga con ráfagas de luz, largas y definidas, la penumbra que se cierne sobre el río. Junto a él, Michael J. O'Farrell se ha aposentado en el banco duro del esquife. Con los huesos molidos, embarrado hasta las cejas, sólo lleva en el cuerpo una jarra de café instantáneo y cuatro mendrugos de pan de centeno.

De pronto, un murciélago claro se adentra en el haz. Es fornido. O'Farrell se incorpora. Miller pugna por retener el fantasma en su cono de luz. La bestia desciende y arremete en picado. Antes de que los naturalistas puedan resolver de qué especie se trata, en cuestión de segundos, desaparece.

O'Farrell vuelve al banco, frustrado. No hace ni dos minutos que apagó el Anabat. El detector es una combinación de equipo informático y



1. LOS HOMBRES DE LOS MURCIELAGOS Michael J. O'Farrell (*extremo izquierda*) y Bruce W. Miller registran el grito ultrasónico de un murciélago. El detector Anabat que O'Farrell sostiene en la mano capta las señales, que son analizadas en la cajita blanca situada junto al ordenador portátil. Entre las capturas había murciélagos bigotudos comunes, como éste.

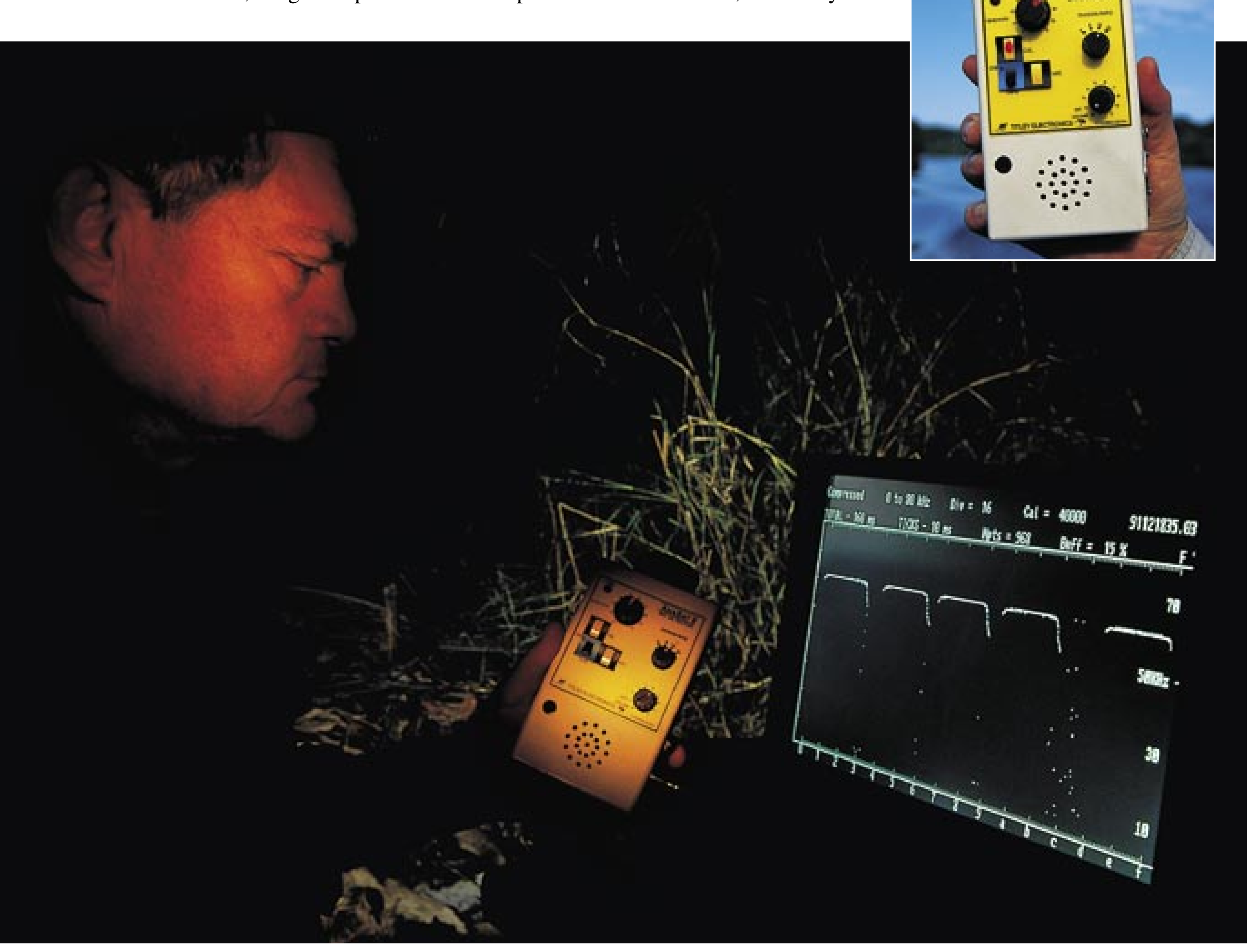
dispositivo manual que transforma un ordenador portátil ordinario en un refinado oído electrónico, preparado para registrar y mostrar los gritos ultrasónicos de los murciélagos. Conocida la forma de los gritos, Miller y O'Farrell habrían podido determinar probablemente la especie del fantasma.

Y ésa es, después de todo, la razón principal de su venida a Belice. Con menos de un cuarto de millón de habitantes y una extensión similar a la región valenciana, este enclave centroamericano constituye un verdadero edén para los biólogos. Hay zonas, así el distrito entero de Toledo, el más meridional, vírgenes para los estudiosos de la biodiversidad. En los 4648 kilómetros cuadrados de jungla de Toledo sólo hay una autopista, algunas carreteras, tres pueblos pequeños, aldeas y campamentos dispersos. Miller y O'Farrell llegaron al río Sarstoon para abrir Toledo a la prospección biológica. Empezaron con sus murciélagos.

En las cuatro campañas realizadas, Miller y O'Farrell han registrado e identificado suficientes murciélagos en Belice y otros territorios americanos para elaborar artículos de investigación sobre secuencias vocales y distribución de poblaciones. Según sus cálculos, habrían catalogado las llamadas ultrasónicas del 68 por ciento de los murciélagos ecolocadores de Belice. Pero existen otras razones por las que están aquí, aplastando mosquitos, comiendo manteca de cacahuetes y carne en conserva. Una por ejemplo: emprender algo único en una zona donde difícilmente podría verse la pisada del hombre.

A primera hora del día, Miller y O'Farrell remontaron varios kilómetros el Sarstoon a bordo del *Meddy Bemps*, un vetusto langostero de ocho metros de eslora. Miller miraba por la espesa vegetación en busca de claros donde instalar sus trampas. Con O'Farrell, cataloga el sonido de un murciélago, es decir, casa voz y cara, en un proceso que consta de varias etapas: captura de la pieza, suelta de la misma y registro de sus emisiones mientras vuela en círculo alrededor del detector.

Sin apartar la vista de los manglares, Miller explica la importancia del distrito de Toledo. Aquí la jungla forma parte de la Selva Maya, la mayor extensión de bosque tropical al norte del Amazonas. "Belice



2. EL SISTEMA *ANABAT* muestra el armónico más intenso de la llamada ultrasónica de un murciélago, y dibuja en la pantalla de un ordenador portátil la frecuencia de dicho armónico en función del tiempo. Para el ojo experimentado, como el de Miller, la forma del gráfico revela la especie de murciélago; esta foto muestra los repiqueteos de un murciélago bigotudo común. El detector (*detalle*) capta la señal ultrasónica y la traduce en un sonido audible.

constituye, señala, un eslabón crítico, exento de perturbación y propicio para el intercambio genético entre especies”, de México sudoriental a Panamá. Esa continuidad en libertad impide la estanqueidad de reservorios génicos.

Para proteger la vida salvaje de la intrusión humana, hemos de empezar por saber qué especies viven allí y cuáles se hallan amenazadas. Las 87 especies conocidas de murciélagos de Belice suponen más de la mitad de la diversidad de mamíferos del país. Además, sigue indicando Miller, los murciélagos cumplen funciones clave en el ecosistema de la selva. En cualquier noche, un insectívoro promedio consume más de 1000 insectos, incluidos muchos perjudiciales para la vegetación. Los frugívoros dejan caer semillas mientras vuelan a través de áreas abiertas, y así fomentan la reforestación. El guano de murciélago constituye un auténtico maná para las plantas.

Miller y O’Farrell temen que en esta campaña habrán de partir de Toledo sin ampliar su catálogo, sin acoplar al menos otra voz a otra cara. Aunque todo es posible. Pisan una región virgen para la ciencia y nada obsta para que especies consideradas raras al norte abunden por aquí.

Hallarse ante *Saccopteryx leptura*, el murciélago rayado menor, sería un triunfo. Sospechan que vive en Belice. Si pudieran confirmar su rúbrica vocal, completarían el género *Saccopteryx* con todas las especies de Belice. De lograr, por otro lado, la identidad vocal de *Pteronotus gymnonotus*, el murciélago grande de dorso desnudo, poseerían las llamadas vocales de todos los miembros continentales de la familia Mormoópidos. A estas alturas de su repaso en el bote, ignoran todavía que la expedición se va a convertir en la búsqueda de una pieza inesperada, un murciélago grande y blanco.

Llevan dos horas de inspección del terreno. Por fin dan con un calvero adecuado para colocar las trampas de arpa. Con sus cuatro metros de altura, atrapan a los murciélagos entre dos telares de filamentos verticales. El sol del atardecer, anacarado, avisa que la noche llega presta. Hay que prepararse para la tarea.

Transfieren su equipo al esquife. O’Farrell ondea el detector Anabat en dirección a la selva. Miller barre con la linterna un grupo abigarrado de palmeras cohún, árboles de provisiones y caliandras, más allá de los manglares. A los pocos minutos, tienen ya descubiertos un murciélago pescador, un murciélago rabudo y un par de murciélagos bigotudos grandes. El Anabat chilla, chirría, chasquea. Dibuja rayas horizontales o puntos dispersos en la pantalla del ordenador portátil, conforme traduce los chillidos ultrasónicos de los murciélagos en señales perceptibles por el oído y ojo humanos. Para Miller y O’Farrell, esas rayas, puntos y curvas cuentan emocionantes historias de unos quirópteros que van de acá para allá, cazan o pescan.

De pronto, el detector capta una señal corta, misteriosa, en torno a los 22 kilohertz. No es la primera vez que se les aparece, pero hasta ahora no ha habido forma de encontrarle la cara. “Tal vez se trate de uno de los rabudos mayores”, adelanta O’Farrell. La voz vuelve varias veces más. Vacían las trampas. Hay atrapados dos murciélagos de orejas en embudo mexicanos (natálidos), un murciélago

Noctilio leporinus
Murciélago pescador

3. EL MURCIELAGO PESCADOR posee una llamada ultrasónica que evolucionó para permitir que el animal detectara las minúsculas ondulaciones que sobre la superficie del agua causa la aleta dorsal de un pez minúsculo. Las patas y garras del murciélago le permiten agarrar al pez en vuelo. O’Farrell y Miller detectaron varias veces a estos murciélagos, pero ya habían catalogado el sonido de los animales. Fatigado después de varias horas de escrutar los cielos en busca de sonidos de quirópteros sin identificar, O’Farrell (*abajo*) encontró una manera de descansar y seguir trabajando al mismo tiempo.







4. LAS TRAMPAS DE ARPA (*derecha*) atrapan a los murciélagos entre dos conjuntos de cuerdas de monofilamento. Al volar hacia las cuerdas, los murciélagos detectan el conjunto más cercano, pero no el situado detrás. Giran para esquivar el primer grupo pero chocan con el segundo y caen, sin ningún daño, en la bolsa de lona. El murciélago rayado grande (*arriba*) no cayó nunca en las trampas tendidas; tampoco, el murciélago rayado chico, más esquivo.

bigotudo común y un murciélago frugívoro de Thomas. De vuelta al bote, examinan y miden las presas. Anotan los datos en el cuaderno de campo, sin más luz que la de la linterna atada a la testa.

Ha sido, pese a todo, una noche tranquila. “Hubiéramos tenido que capturar murciélagos narigudos y murciélagos rayados. Deberíamos haber atrapado murciélagos amarillos y grandes murciélagos pardos”, se queja O’Farrell. Nada, empero, comparable con la identidad del autor de las llamadas de 22 kilohertz. “Parece que corresponde a un molósido”, insinuó en alusión a una de las nueve familias de quirópteros de Belice. “Pero igual podría ser uno de esos embalonúridos de gordo culo volando por ahí.”

Media hora después aparecía una prueba convincente: grande y blanca, batiendo las alas sobre el esquife cerca de la desembocadura del río Sarstoon. La desgracia quiso que hubiera apagado el detector minutos antes de que se presentara el murciélago.

Keith Mahler zigzaguea la motora que los lleva a través de los trasmallos que bloquean la desembocadura del Sarstoon. Se dirige a la bahía de Amatique, donde permanece el queche de 15 metros de eslora *Tempest*, su hogar de descanso.

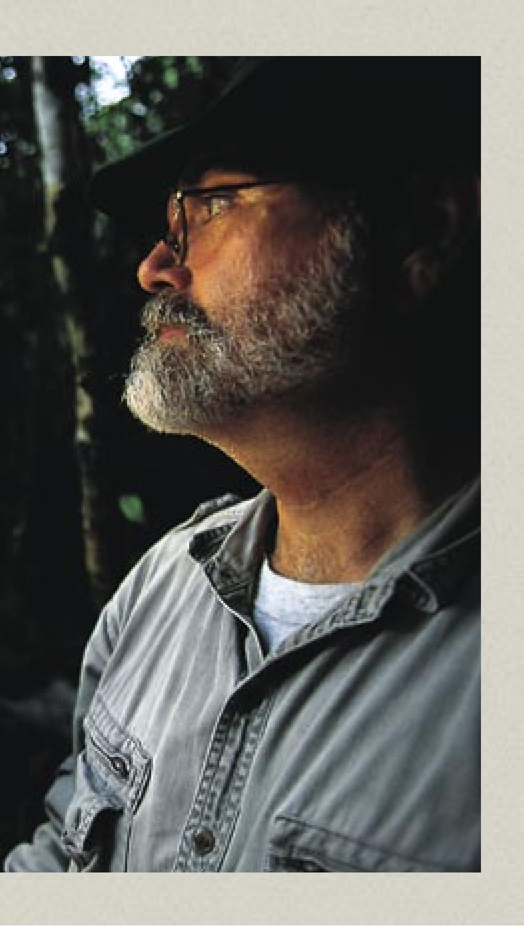
A la tarde siguiente, de nuevo al tajo. Instalan los detectores en las ruinas de lo que fuera un puesto de avituallamiento. Esta noche el espectáculo aéreo ofrece más “zumbidos de alimentación”. Cuando un murciélago insectívoro se abate sobre su presa, aumenta el ritmo de sus pulsos de ultrasonidos hasta que las emisiones, oídas a través del Anabat, se convierten en un zumbido corto y agudo. Los animales cambian el tono de sus llamadas cuando se encuentran en compañía de otros de la misma especie, para poder distinguir sus propios ecos.

La tarde avanza. Se detecta un murciélago rayado todavía mayor. Dejan su sello murciélagos bigotudos, murciélagos rabudos y la misteriosa señal de 22 kilohertz. Pasa luego algo insólito; un miembro desconocido de la familia Vespertiliónidos emite una señal que sube hasta los 58 kilohertz.

A la mañana siguiente O’Farrell, bajo cubierta del *Tempest,* recuerda el verano de 1994, cuando buscaba con Miller murciélagos en Punta Gorda, Belice. Su hospedero les habló del cielo de los murciélagos, que estaba, decía, en el ático de un cuartel inmediato. Allí fue O’Farrell, acompañado de un sargento belizano y media docena de soldados, que extendieron una escalera metálica para que el naturalista viera qué especies de murciélagos vivían en el ático. Hubo que retirar el guano acumulado a lo largo de muchísimos años. O’Farrell y Miller habían encontrado un filón. En el ático había murciélagos mastín negros... miles de ellos. Los registraron aquella misma noche, mientras salían de los aleros del tejado de chapa del edificio.

Parece que hoy no habrá tanta suerte. En las trampas sólo ha caído un murciélago frugívoro. Se dirigen hacia el río Temash, a unos nueve kilómetros al norte. Se les va la travesía costera hablando del uso de detectores electrónicos en el estudio de quirópteros y su eficacia, aún controvertida. De hecho, sólo Elisabeth Kalko, de la Universidad de Tubinga, utiliza la técnica en América Central. Kalko se vale de un sistema fabricado por encargo.

Anabat registra y exhibe sólo los armónicos más fuertes de la llamada de un murciélago. Algunos críticos objetan que estos armónicos dominantes son insuficientes para distinguir dos especies del mismo género.



Miller replica que basta con un poco de pericia. Sin ir más lejos, el año pasado O'Farrell se sometió a una prueba ciega que duró tres días, realizada por el Servicio Forestal de los Estados Unidos. Se le pidió que distinguiera varias especies de *Myotis*. Acertó en un 66,7, un 76,4 y un 84,3 por ciento de los casos. No superó el 68 por ciento la puntuación del grupo control (formado por varios graduados que se proponían identificar los mismos murciélagos mediante métodos estadísticos).

"Por arrogante que suene", concede Miller, "la técnica, tal como la utilizamos aquí, revolucionará los métodos de muestreo en los trópicos". Las técnicas tradicionales de seguimiento de murciélagos se limitan al empleo de trampas de arpa y redes finas. Pero ninguna resulta con los animales que vuelan alto, los Molósidos por ejemplo.

Miller y O'Farrell se niegan a ceder sus enormes catálogos de registros de Anabat. "No se trata de que no queramos compartirlos", aclara Miller. "Pero, de entrada, si [otros zoólogos] carecen de la experiencia para comprender los datos, no les servirá de mucho. Podrían aplicar mal los datos." Michelle Evelyn, de la Universidad de Stanford, ante la negativa de acceso a los archivos, pagó 250 dólares para asistir a un seminario de dos días sobre Anabat, impartido por O'Farrell, el biólogo William L. Gannon y Chris Corben, el inventor de Anabat. Justifica la renuncia de Miller y O'Farrell de compartir sus catálogos extensos. "Es su biblioteca, y han pasado cinco años creándola. Se trata de material novísimo, de primer rango. Publican los resultados; no cultivan ningún secretismo." Miller y O'Farrell piensan poner la mayoría de sus registros a disposición pública, seguramente a través de una base de datos accesible, que prepara la Universidad de Nuevo México.

Remontando a motor 13 kilómetros del Temash, Miller encuentra un sitio cerca del río para instalar las trampas. La noche entera de trabajo para llenar, eso sí, 29 archivos en el Anabat, pero ni una pieza en las trampas. Las posibilidades de ampliar sus catálogos se reducen. Sólo tienen otras dos noches para intentarlo antes de devolver el *Meddy Bemps* a otro grupo de investigadores.

Al día siguiente deciden adentrarse en pleno Temash, demasiado lejos para retornar por la noche al *Tempest*. Por duro que sea dormir sobre la cubierta del *Meddy Bemps*, no pueden terminar la expedición sin añadir algún registro vocal nuevo a su elenco. Llegada la noche, deciden separarse, cada uno con su detector. O'Farrell navega río arriba en el esquife; Miller permanece en el *Meddy Bemps*.

El Anabat de O'Farrell pronto empieza a parlotear cuando un trío de mastines negros revolotea sobre su cabeza. Las señales llegan cada vez más deprisa hasta que resulta evidente que se encuentra en un "punto caliente": una nube de insectos codiciados por diversos grupos de murciélagos. Los datos llegan rápidos, frenéticos. Murciélagos amarillos, mastines, murciélagos perrunos y las dos especies de murciélagos rayados, el grande y el esquivo menor, todos a la vez. Capta algunas señales de cara por identificar, chillidos que se dirían de molósido o, mejor, de un vespertiliónido. Vuelve a registrarse otro murciélago perruno y un embalonúrido sin descifrar. No debe ser frecuente en Belice, sospecha, convencido de que él y Miller habían ya catalogado todos los embalonúridos del país. El Anabat vuelve a chirriar el retorno del individuo de los 22 kilohertz. La excitación decae momentáneamente, para aumentar conforme se agregan otros murciélagos al festín de la noche. Pese a la reincidencia del emisor de 22 kilohertz, no confían en identificarlo esta campaña. Tendrían que capturarlo y no parece proclive a dejarse caer en la trampa.

La señal de 22 kilohertz suena varias veces a lo largo de la noche, discernible sólo para los murciélagos y los Anabat. Mahler dirige el foco hacia el cielo, esperando localizar al animal. De repente, alumbra a un gran quiróptero blanco, distante unos 15 metros. El color singular y la forma de la señal de 22 kilohertz, peculiar de un embalonúrido, sugieren a O'Farrell que el murciélago es *Diclidurus albus*, el murciélago fantasma septentrional.

Nunca se ha podido identificar un *Diclidurus* en sentido pleno, es decir, con cara y voz. En Panamá, Elisabeth Kalko ha obtenido señales y lo ha visto en el haz de una linterna, como acaban de contemplarlo en Belice.

A las 8 de la mañana, de retorno al *Meddy Bemps*, O'Farrell hace recuento. En un par de horas ha registrado 183 archivos. Algunos murciélagos habrán sido registrados más de una vez, pero las repeticiones no restan éxito a la cosecha. Por ejemplo,



5. EL *MEDDY BEMPS* fue antes un bote langostero en Maine. Miller y O'Farrell dedican la tarde a escudriñar las riberas en busca de claros donde instalar sus trampas.





6. EL ATARDECER EN EL RIO SARSTOON encuentra a Miller (*izquierda, abajo*) y a O'Farrell preparando sus dispositivos detectores de murciélagos para el trabajo nocturno. Dos noches más tarde, a lo largo del río Temash, unos nueve kilómetros al norte, registraron las llamadas del magnífico murciélago fantasma septentrional (*derecha*).

de embalonúridos de 90 kilohertz. Y no digamos el gran murciélago blanco. No dejan de darle vueltas al fantasma. "Elisabeth dijo que el suyo se encontraba en los 30 kilohertz, ¿no?", pregunta O'Farrell. "Eso es lo que me dijo", responde Miller. Aunque existen varias especies de *Diclidurus*, la observada en Belice era *albus*, sin duda.

Ultima jornada en Toledo. En medio de un aguacero, avanzan hasta el mismo recodo agudo del Temash en el que el murciélago fantasma hizo su tercera aparición efímera. A las 5,30 los cielos se han despejado. Miller prepara una lámpara ultravioleta para atraer a las polillas. Han decidido olvidar las trampas y "pescar" el gran murciélago blanco. Prepararán un anzuelo con una polilla como cebo y lo agitarán en el extremo de una caña de pesca larga y flexible, de las usadas para pescar con mosca. Con mucha suerte, pueden tocar el ala del murciélago cuando éste intente llevarse el insecto a la boca. El daño del ala en el percance es menor, del tipo de los desgarrones que los animales acostumbran sufrir cuando vuelan entre la espesura. La primera llamada de 22 kilohertz llega a las 6.24. Se repite trece minutos después.

"Tenemos a la vez a *Diclidurus* y a un murciélago amarillo", anuncia O'Farrell. Segundos después, Miller captura un murciélago con la caña, pero es el amarillo; lo suelta. Prepara más cebo en la enorme provisión de polillas, hormigas voladoras y moscas que se arrastran alrededor y debajo de la lámpara ultravioleta que ha instalado sobre el techo del bote. El detector recoge los armónicos emitidos por el murciélago deseado. Crece la tensión. Miller cambia de cebo. Coloca una esfinge, un insecto casi tan grande como un colibrí. El fantasma se abate sobre el cebo pero, sorprendentemente, no lo ataca. Para abatimiento general, se pierde en la jungla. Lo que no se ha escapado es su repertorio vocal, bien apresado en el disco duro.



7. CUANDO TERMINA EL DIA los investigadores y el barquero Keith Mahler se instalan en el esquife y se disponen a iniciar la búsqueda nocturna de murciélagos.

El secreto de NABADA

Durante décadas, los orientalistas atribuyeron un interés secundario a las colinas del norte de Siria. Pero las excavaciones de Tell Beydar han traído una sorpresa: en el norte de Mesopotamia existía, hace ya más de 4500 años, la metrópolis de Nabada con un buen sistema administrativo y una cultura avanzada

Joachim Bretschneider



1. EL VIENTO Y LA ARENA obstaculizan el desarrollo de la excavación en Tell Beydar. Pero el esfuerzo vale la pena. En el norte de Siria, bajo una colina, yace enterrada una metrópoli antaño espléndida de la antigua Mesopotamia.

Mesopotamia, tierra fértil situada entre los ríos Tigris y Eufrates. País de los sumerios, babilonios, asirios y muchos pueblos más que han escrito la historia de la humanidad. Sede de refinadas culturas, lugar de origen de la escritura cuneiforme y paisaje veterotestamentario, que gana en la comparación con Egipto. Desde finales del siglo XIX los arqueólogos buscan, de una forma sistemática, recuperar la historia antigua de Oriente Medio y seguir el rastro de las narraciones bíblicas. Bajo las arenas de Irak han ido apareciendo las ruinas de Asur, Babilonia, Ur y Uruk, que fueron ciudades-estado.

Restos de murallas, tablillas escritas y otros objetos dan testimonio de una historia cambiante que comenzó hace más de 5000 años. Allí, donde en otro tiempo abundaba el agua y un ingenioso sistema de canales regaba los campos, donde cosechas feraces posibilitaban el comercio con pueblos lejanos, únicamente allí —según se creía— radicaban los centros del poder y sólo en sus entrañas se gestó la civilización.

En efecto, hasta hace poco los arqueólogos apenas si fijaron la mirada en las estepas septentrionales de Siria. Pero la guerra entre Irán e Irak, iniciada en 1980, impidió el acceso a las culturas meridionales y obligó a un replanteamiento de los programas. En 1992, guiado por el afán de conocer épocas todavía muy obscuras para la ciencia, nuestro equipo de investigación eurosirio bajo la dirección de Marc Lebeau y de Antoine Suleiman comenzó las excavaciones en Tell Beydar, que estaba a unos 35 kilómetros al noroeste de Al Hasake, capital de la provincia.

El sol marca el ritmo de una jornada de trabajo de 14 horas. Sale a las 5 de la mañana, momento en que, tras un breve desayuno, se inicia la tarea. Se repite la estampa



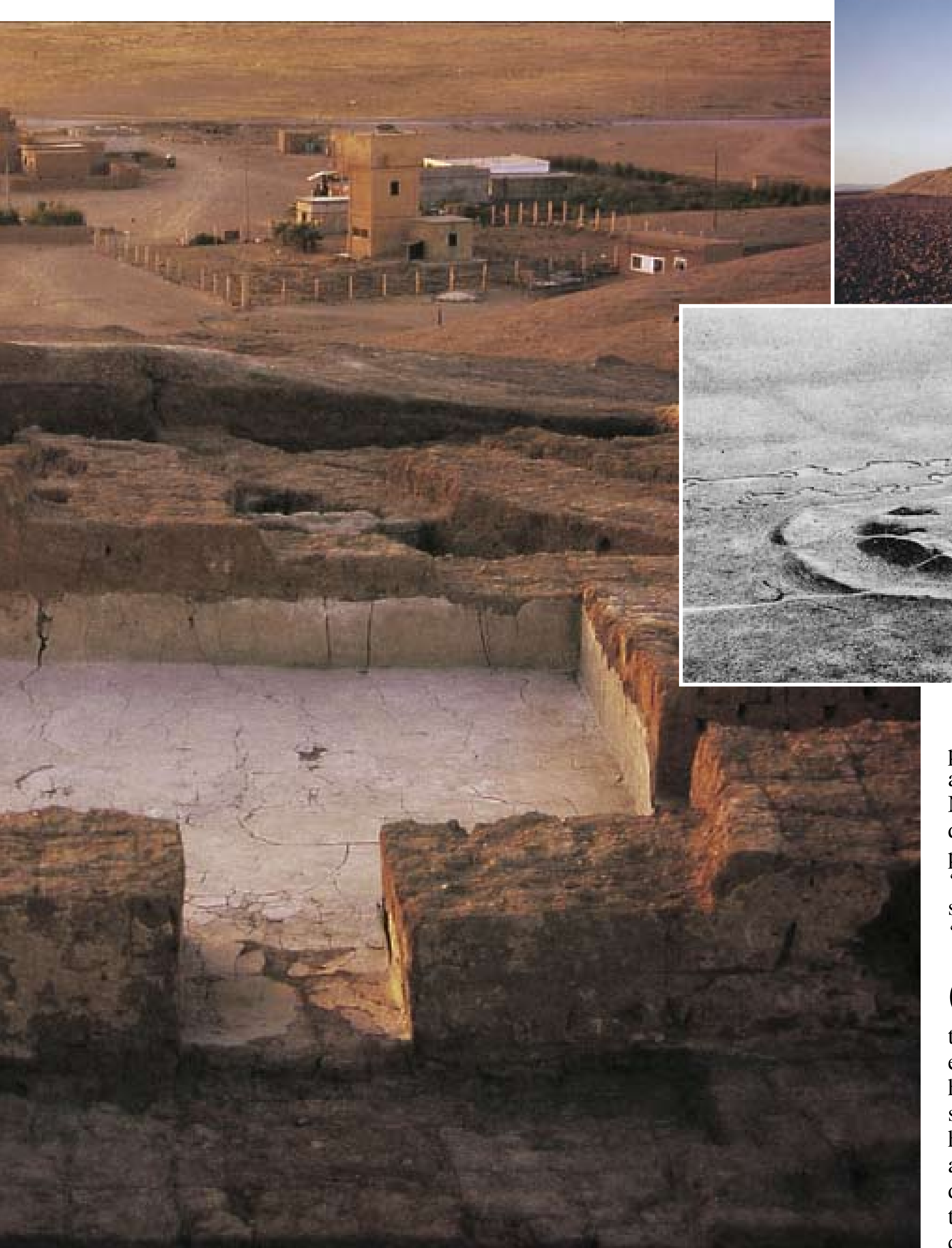
romántica del arqueólogo aventurero. Un centenar de obreros reclutados en la aldea de Tell Beydar y en pueblos limítrofes, ataviados con su indumentaria, caminan hacia la colina. El sol implacable de las 13 horas obliga a todos a refugiarse en la sombra. Empieza entonces la labor de procesamiento, documentación y análisis de los hallazgos desenterrados de las cuadrículas del yacimiento (una suerte de cercados con pivotes de hierro y cordones de nailon). En el trabajo se han utilizado azadas, palas, espátulas y cepillos de dientes. Tras un esfuerzo de varias semanas, lo obtenido resulta ser algo impresionante, decepcionante o simplemente "tan sólo" una pieza del rompecabezas de la historia antigua.

Por la tarde, alrededor de las 18 horas, el ocaso se precipita. Algunos trabajos de mesa continúan con luz eléctrica o al resplandor de unas velas. Y apetece respirar, a la puesta del sol, la tranquilidad que desprende la soledad del yacimiento.

No es una labor cómoda la del grupo. La excavación cuenta con una subvención parcial procedente de fondos de investigación y con cierta ayuda privada. Expertos y alumnos trabajamos, puede decirse, de forma gratuita. Se viene al yacimiento aprovechando las vacaciones semestrales; es decir, desde finales de agosto a finales de octubre. Lo que significa un sol abrasador, tormentas de arena y escorpiones. Así recuerda Volker Tschannerl esa singular peripecia.

"El calor abrasador del día había caldeado las habitaciones. Sacamos al exterior el camastro de aluminio y extendimos, encima, los sacos de dormir. Todavía creíamos en la eficacia de las mosquiteras, que habíamos instalado con la máxima estanqueidad. Nos invadió una sensación de impotencia. Aquí no hay moscas. Aquí hay unos insectos voladores, mínimos e invisibles casi que atraviesan hasta la red más fina. La noche, corta, era también inquieta. Pero valía la pena. Cada tarde, una bola roja caía en medio de un círculo infinito, el barro se convertía en arena, la arena en barro. Aparecían sombras y se desvanecían los colores. Un amplio velo negro nos cubría, mientras la luz celada intentaba atravesarlo por infinitos resquicios. El firmamento mostraba todo su esplendor; una enorme alfombra despedía la luz de miles de centelleos."

Penalidades y satisfacciones íntimas, conjugadas. Largos períodos de búsqueda agotadora para que, de repente, nos bese la fortuna con un hallazgo valioso. Ha valido la pena. La idea aceptada de una mayor riqueza arqueológica encerrada en el mediodía de Mesopotamia resulta harto discutible. Sin desenterrar aún del todo, el mundo yacente bajo la suave colina de 30 metros de Tell Beydar resiste la comparación con la vieja Troya. No se trata de ningún parangón descabellado. Ambas ciudades experimentaron un primer apogeo en la Edad del Bronce temprano y alcanzaron particular relieve económico y cultural. Después de ocho años de investigación, podemos asegurar que la ciudad asentada bajo Tell Beydar posibilitó el comercio a larga distancia entre las ciudades-es-



2. ACROPOLIS DE TELL BEYDAR, iluminada por el sol del atardecer. Al fondo, la aldea moderna, en primer término el salón del trono, donde probablemente eran recibidos los soberanos de los principados vecinos. Las paredes y el piso estaban pulidos con cal para resaltar la solemnidad. El palacio comprendía varias alturas, como puede verse en la representación por ordenador (*izquierda*). En su entorno se levantaban las zonas residenciales y la muralla de la ciudad. Lo único que queda hoy de la muralla es un lienzo; los huecos marcan el lugar de las puertas de la ciudad.

Tell Beydar en 1927 y hoy.

tado del sur de Mesopotamia y los centros económicos del norte.

No somos los primeros que se han propuesto descubrir el secreto guardado bajo las lomas del norte de Mesopotamia. A principios de siglo, el barón Max von Oppenheim exploraba el norte de Siria, bastante despoblado entonces y densamente habitado en la antigüedad. Todavía hoy, se elevan sobre la llanura unos trescientos montículos o lomas ('Tells') que esconden restos de primitivos poblados. Oppenheim emprendió la excavación sistemática de Tell Halaf, cerca de Ras el-Ain, en la cuenca húmeda del río Habur. Entre otros hallazgos, aparecieron en la loma piezas de cerámica que caracterizan a un período entero de la historia de Mesopotamia, la era de Halaf, en el quinto milenio antes de Cristo. Oppenheim llamó la atención sobre unos 'Tells' circulares a los que, debido a sus cercos en forma de corona, llamó 'colinas coronadas'.

Oppenheim no fue el único que recorrió el norte de Siria. "Por todas partes se elevan montículos", escribió Agatha Christie, "calculo que habrá unos sesenta, lo que significa sesenta antiguos poblados. Donde hace 5000 años imperaba una intensa actividad hoy sólo transitan grupos de nómadas que viven en oscuras tiendas de campaña. Aquí empezó la cultura." Mientras en Europa estallaba la Segunda Guerra Mundial, en los 'Tells' de Brak y de Chagar Bazar (en la región del Habur), excavaba el segundo marido de Christie, Sir Max Edgar Mallowan. La novelista reflejó su familiaridad con el pasado de Oriente Medio en *Muerte en el Nilo*, publicada en 1937.

Hubo que esperar hasta 1958 para que un grupo reducido de la Universidad Libre de Berlín, bajo la dirección primero de Anton Moortgat y, a su muerte, de su esposa Ursula Moortgat-Correns, comenzara un plan sistemático de excavaciones en una de esas lomas. Se trataba del Tell Chuera, conocido ya por Oppenheim en 1913, situado entre los ríos Habur y Balich (afluentes del Eufrates). La

Metrópolis importantes de la antigua Macedonia

Asur
Primera capital del Imperio Asirio. Hasta su destrucción en el año 614 a.C., fue también su centro religioso. Importantes hallazgos del segundo al primer milenio a.C. se encuentran en el Museo de Pérgamo, de Berlín.

Babilonia
Fundada a mediados del tercer milenio antes de Cristo, la ciudad-estado fue residencia del soberano en tiempos de Hammurabi. En el centro de la ciudad tardobabilónica (siglo VI a.C.) destaca la ciudadela fortificada, en otro tiempo dominada por un zigurat (pirámide escalonada), la "Torre de Babel". Babilonia seguía siendo centro cultural en tiempos de los partos.

Ebla
Miles de tablillas de arcilla del archivo palaciego de las primeras dinastías demuestran que Ebla fue reino y centro comercial cuya influencia trascendía sus propias fronteras. Probablemente fue conquistada por Sargón de Akkad. Hasta el final del período sirio antiguo siguió siendo una ciudad poderosa.



Kisch
Según la lista de reyes sumerios, que a menudo se utiliza para fijar fechas de los acontecimientos, Kisch fue la primera ciudad donde se reinstauró el reino "después del diluvio universal". Restos arquitectónicos y tablillas cuneiformes proceden del tercer milenio a.C. El gran palacio corresponde a la época de las primeras dinastías. En la era babilónica primitiva Hammurabi hizo construir un zigurat que hoy todavía puede contemplarse.

Mari
La fundación de la ciudad se remonta a la primera mitad del tercer milenio antes de Cristo. Hay pruebas de la riqueza y poder de las primeras

loma, que se extiende a lo largo de un kilómetro, alcanza 18 metros de altura.

Las excavaciones en este yacimiento fueron continuadas más tarde por Winfried Orthmann y por Jan Waalke-Meyer. A ellos debemos el conocimiento de una ciudad de la primera mitad del tercer milenio, que disponía de edificios monumentales destinados al culto. Como en las metrópolis del sur de Mesopotamia, aquí los albañiles utilizaron ladrillos de barro secados al aire. Pero, a diferencia de lo encontrado en el mediodía, los grandes edificios destinados al culto están construidos sobre poderosos bloques y terrazas de piedra. Quiénes eran sus constructores, de dónde vinieron y cómo vivían son cuestiones pendientes, pues carecemos de testimonios escritos de las primeras fases de la ciudad. Según se puede deducir de los hallazgos arquitectónicos y pictóricos, la "cultura de Chuera" difirió de la desarrollada en las ciudades-estado sumerias del sur.

El 'Tell' de Chuera constituye un yacimiento más entre la docena de cierto tamaño en el curso superior del

Edad de Piedra Tardía

Piedras para cálculos
Preescritura
Comienzo de la administración

4000 a.C.

3500

Cultura de Uruk
en Mesopotamia del Norte
y del Sur

3400

Uruk
Tel Brak
Tumbas reales de Abydos
(Egipto)

Invención de la escritura
Sistemas complejos de administración
Sellos



dinastías. Mari controlaba el comercio de caravanas y fluvial, entre Babilonia y el mar Mediterráneo. Las construcciones reales de Mari pertenecen a la primera mitad del segundo milenio antes de Cristo.

Nagar
Ya en el cuarto milenio Nagar fue un centro puntero de la cultura uruk en la cuenca del Habur. También en el tercer milenio dominó la región y mantuvo relaciones comerciales con Ebla y Mari. En tablillas cuneiformes encontradas en Tell Beydar se habla de un rey de Nagar. Las construcciones más recientes de templos y palacios corresponden al período mitánnico.

Nínive
Los hallazgos más antiguos son del milenio sexto antes de Cristo. Como capital del Imperio Asirio experimentó su máximo esplendor en el siglo VII a.C. En el año 612 a.C. fue destruida por medos y babilonios.

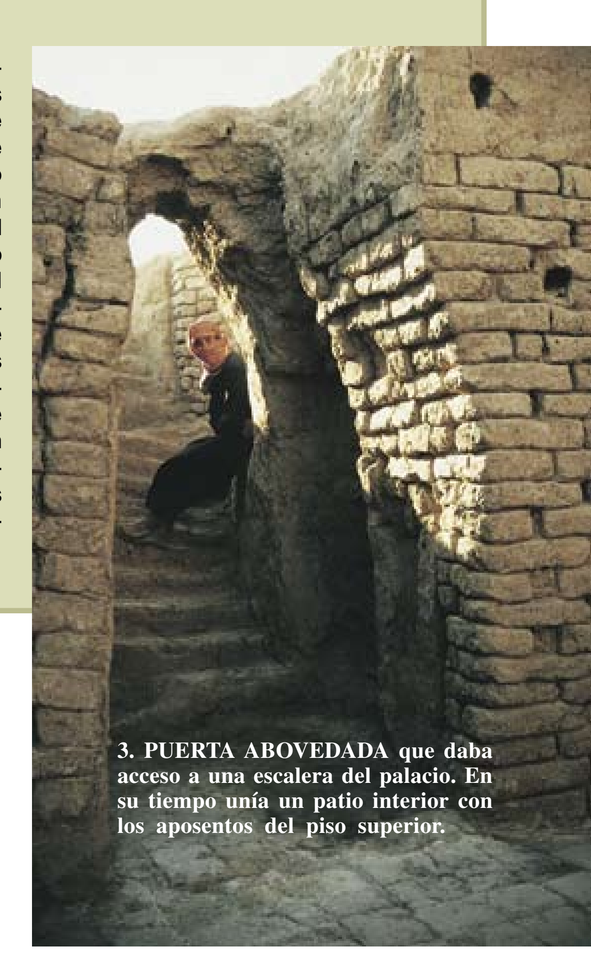
Troya
Troya ocupaba una favorable situación cerca de la entrada meridional de los Dardanelos, lo que la aupó hasta convertirla en nudo comercial por cuya posesión se desataron frecuentes guerras. Estuvo poblada en fechas muy remotas. Se caracterizan hasta nueve estratos fundamentales desde el tercer milenio antes de Cristo. Las construcciones urbanas de Troya I y de Troya II son aproximadamente contemporáneas de las ciudades mesopotámicas de las primeras dinastías, cuya extensión era muchas veces mayor. En Troya II (en torno al 2300 a.C.) encontró Schliemann el supuesto tesoro de Príamo. La *Ilíada* de Homero corresponde a Troya VII, que sucumbió en el siglo XII a.C.

Tuttul
Centro de poder y económico en los milenios tercero y segundo a.C. Las pruebas ofrecidas por la arquitectura funeraria y palaciega, así como la información obtenida de escritos cuneiformes, demuestran que hubo dos fases fundamentales en el poblamiento de la ciudad.

Ur
Centro cultural y de poder, sede de varias dinastías en el tercer milenio antes de Cristo. En esta época se restauraron o erigieron construcciones monumentales y zigurats. Tras una larga fase de decadencia se reanudó la actividad constructora en la época tardobabilónica (del 605 al 539 a.C.).

Urkisch
Todo parece indicar que se trataba de la sede de los soberanos de una dinastía de los primeros tiempos hurritas, en torno al 2250 a.C. A esa época pertenecen un palacio y un templo en el centro de la ciudad.

Uruk
Mediante sondeos los estratos más antiguos se han datado entre los milenios quinto y cuarto a.C. En la segunda mitad del cuarto milenio a.C. Uruk era el centro de la cultura sumeria. Allí se encontraron tablillas con escritura cuneiforme y sellos de rodillo; se erigieron los primeros templos monumentales y grandes construcciones.

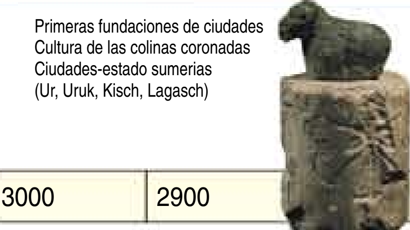


3. PUERTA ABOVEDADA que daba acceso a una escalera del palacio. En su tiempo unía un patio interior con los aposentos del piso superior.

río Habur; el número de los pequeños es muy superior. Cabe suponer que estos poblados formaron una unidad cultural y quizás una unidad política, la cultura de las colinas coronadas.

A principios del tercer milenio antes de Cristo se puso en marcha un amplio proceso convergente de fuerzas políticas y económicas en grandes centros urbanos. Surgieron así en la Mesopotamia meridional (Irak) las ciudades-estado de Kisch, Lagasch, Umma, Ur y Uruk; aparecieron en las actuales regiones septentrionales de Siria los asentamientos de Chuera, Ebla, Mari, Nabada y Tuttul. De la misma época son los estratos I y II de Troya, en

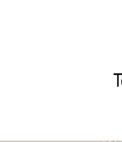
Edad del Bronce Temprano



Primeras fundaciones de ciudades
Cultura de las colinas coronadas
Ciudades-estado sumerias
(Ur, Uruk, Kisch, Lagasch)



Literatura sumeria antigua
"Gilgamesch"



"Imperio" de Akkad
Emigración de los hurritas
hacia el norte de Mesopotamia

Textos de Nabada

Textos
akkádico-semíticos

"Sargon"

Tercera dinastía de Ur
Rey Gudea

3000 | 2900 | 2700 a.C. | 2500 | 2400 | 2300



Primera
dinastía
de Egipto
(Menes)

Nabada (fundación)
Chuera, Mari,
Troya I, Biblos

Imperio Antiguo (Egipto)
Pirámide escalonada de Djoser

Pirámide de Cheops

Asur, Mari, Chuera,
Tuttul, Ebla, Troya II
(tesoro de Príamo)

Urkisch
(Tell Mozan)

Fin de Nabada



Final de la primera fase de Nabada

Repoblamiento de Nabada

JOACHIM BRETSCHNEIDER estudió arqueología y filología del antiguo Oriente Medio en la Universidad de Münster. Desde 1994 es colaborador científico en la Universidad Católica de Lovaina y del Seminario para el antiguo Oriente Medio de la Universidad de Münster. En el marco de la Asociación Eurosiria de Investigación, financiada en parte por la Sociedad Alemana para la Investigación, Bretschneider dirige las excavaciones del equipo alemán en Tell Beydar.

el extremo noroccidental del Asia Menor, y la fenicia Biblos, en la costa del actual Líbano. Por su parte, se han desenterrado en Egipto restos de urbanizaciones de idéntico tenor y de esa misma época de cambios; por ejemplo, la ciudad de Elefantina, cerca de la primera catarata.

Defensas amuralladas, palacios, edificios administrativos y templos dominaban la imagen de la ciudad. Por lo que concierne a Mesopotamia meridional, conocemos los condicionantes económicos y políticos. Ignoramos si el desarrollo observado en el norte responde a las mismas causas. ¿Se dio también allí un rendimiento prodigioso de las cosechas y se planteó la necesidad de mejorar los métodos de almacenamiento comunitario de las mismas? ¿Facilitó el exceso de alimentos el desarrollo de nuevas actividades, entre ellas la artesanía y la administración? ¿Se estimuló, con el floreciente comercio del bronce y otras materias primas, la creación de estructuras centralizadas de autoridad y de poder?

Como en el sur, las grandes ciudades controlaban extensos territorios atravesados por rutas comerciales. Como en el sur, gobernaban reyes y consejos de ancianos; se rendía culto a divinidades locales e incluso suprarregionales. Y como en el sur, economía y religión estaban vinculadas a los centros de poder. El número creciente de asentamientos propició conflictos armados para resolver conflictos por la posesión del agua, los campos o los pastos, así como por el control de las rutas comerciales.

En torno al año 2400 a.C. conoció su apogeo la región de Mari. A orillas del Eufrates, se convirtió en vínculo de unión entre las culturas del norte y del sur de Mesopotamia. Destacó también Ebla, situado unos 65 kilómetros al sur de Aleppo. Un equipo de arqueólogos encabezado por Paolo Matthiae descubrió allí un rico archivo palatino de tablillas cuneiformes. Estos testimonios escritos revelan una intensa actividad comercial con las ciudades de Nagar y Asur. Por su parte, Nagar se encontraba en pleno cruce de caminos entre los riquísimos territorios montañosos y Mesopotamia meridional, con la ciudad de Kisch como importante centro de actividad.

El área de influencia de Nagar incluía en su tiempo la metrópolis que yace hoy sepultada bajo Tell Beydar. Su nombre original acaba de ser identificado por Walther Sallaberger, de la Universidad de Leipzig, basándose en los textos cuneiformes allí encontrados: "Nabada", la ciudad "brillante, luminosa". "Nabada en el país de Nagar" está citada por un escritor de Ebla y se habla de la valiosa plata "procedente de Nabada".

¿Qué relevancia cultural adquirieron las ciudades sepultadas bajo las lomas coronadas de la cuenca del Habur? ¿Por qué sus constructores optaron por edificarlas sobre una base circular? ¿Se trataba de reflejar las formas de las tiendas de campaña y de los apriscos de sus antepasados nómadas? Las excavaciones del Tell de Beydar deben ayudar a contestar estas preguntas.

De una manera sumaria distinguimos tres fases en la ocupación humana de la zona: desde la fundación hasta la decadencia de Nabada (de 2800 a 2350 a.C.), refundación de la ciudad por los hurritas (en torno a 1400 a.C., período de Mitanni) y ocupación por los asirios (en los siglos VIII y VII a.C.). El interés principal de las investigaciones se centra en la primera fase.

Siguiendo un patrón fijado, los constructores prepararon un área circular de 600 metros de diámetro. Una muralla urbana de hasta cinco metros de grosor protegía la población. El muro está ahora sepultado bajo tierra. En el interior del recinto se agolpaban viviendas y talleres artesanos, como era habitual en las ciudades europeas de la Edad Media.

Las excavaciones bajo las viviendas y en los terraplenes de escombros sobre los que se edificó la muralla aportan alguna información sobre las ideas religiosas de los constructores. En los sepulcros, una entrada subterránea daba acceso a la cámara mortuoria propiamente dicha, amurallada y cubierta con ladrillos. El cadáver yacía en decúbito lateral con las piernas extendidas y junto a él se dejaban armas, adornos y piezas de cerámica que le sirvieran en la vida del más allá. Queda mucho por averiguar sobre su concepción del reino de los muertos. Sí sabemos lo que cuentan fuentes babilónicas tardías, a saber, que la tumba era un acceso a los infiernos, lugar de condena del que no hay regreso. Ofertas de comida y bebida dejadas por los allegados abastecían al espíritu en esta lóbrega y polvorienta región. Si faltaban estos presentes el fallecido castigaba a sus familiares sobrevivientes con la enfermedad y la muerte.

Cuatro puertas en las murallas, por lo menos, daban acceso a la ciudad. Se las reconoce por el vacío dejado en el anillo amurallado. Su sombra debió de ser escenario de una gran actividad. Allí llegaban las caravanas procedentes de Anatolia y de los países vecinos del sur. Un segundo cerco amurallado protegía el núcleo central de la población. Los

Edad del Bronce Medio

Edad del Bronce Tardío

Literatura sumero-akkádica
Copias de los mitos sumerios

Babilonios, asirios, hititas, Mitanni

Dinastías babilónicas
Imperios asirios

Imperio mitánnico



2000 a.C. | 1500 | 1400 | 1100

Palacios minoicos/Cnosos

Código de Hammurabi

Imperio Medio (Egipto)

Troya VI

Destrucción de los palacios minoicos

Imperio Nuevo (Egipto)

Repoblamiento de Tell Beydar (mitánnico)

Ugarit (alfabeto)

Tutankamon (1333-1323)

Invasión de los "Pueblos del Mar"

Guerra de Troya
Troya VII

Ramsés II (1279-1213)



4. DONDE HOY PASTAN LAS OVEJAS en otro tiempo reinaban los soberanos de Nabada. Treinta centímetros de escombros y de tierra cubren las poderosas murallas de ladrillo de barro del palacio. En el fondo la aldea actual, construida hace sólo pocas décadas.

mercaderes pasarían la noche entre las dos murallas; a resguardo de las partidas de ladrones, se les impedía a su vez que inquietaran a los residentes durante la noche.

Los caminos convergían, a modo de radios, en un altozano central, dominado por un palacio, al menos desde el año 2500 a.C. Entre el palacio y la muralla interior discurrían los barrios residenciales. Un completo sistema de alcantarillado subterráneo canalizaba las aguas residuales desde las viviendas y los patios hacia una conducción central.

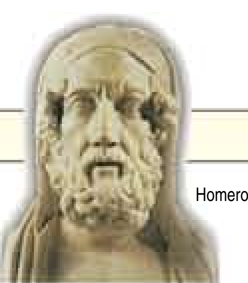
El edificio que reviste mayor interés se encuentra en el sector oriental de la ciudad. Mide unos 27 metros de largo. Todo parece indicar que sirvió de almacén principal. Las cuatro estancias consecutivas, comunicadas por puertas, guardaban grano o lana de oveja, quizá. Se conservan las paredes hasta una altura de tres metros. Por encima del zócalo, una tarima de madera probablemente debía servir para mantener aireada y seca la mercancía. La propia existencia y disposición de los almacenes nos remiten a un sistema económico evolucionado. ¿Se almacenaba para absorber la producción sobrante? ¿Se levantaron los almacenes para abastecer a las caravanas en tránsito? En la confluencia de antiquísimas rutas de caravanas que ponían en comunicación Anatolia y Babilonia, Egipto y Mesopotamia, la ciudad de Nabada y las enterradas bajo las lomas coronadas constituían parada y fonda en la ruta de los comerciantes.

Sólo hemos rescatado una pequeña parte de la ciudad. Los restos del basamento siguen sepultados bajo metros de escombros. Pero la cons-

Período glacial

Babilonios, asirios, fenicios, arameos

750 | 612 | a.C.



Homero

Repoblamiento (asirio) de Tell Beydar

Destrucción de Nínive



Toma de Babilonia por los persas (539)

Herodoto (484-425)

La cuneiforme, primera escritura de la humanidad

Los textos de las tablillas de arcilla nos hablan de un mundo fascinante en el subsuelo de Mesopotamia



La arqueóloga Greta Jans descubre en el barrio residencial tablillas cuneiformes cuya antigüedad se remonta 4500 años (*arriba*). Los objetos, limpiados con pinceles y aparatos propios de odontología, testifican las cuentas diarias de la que parece ser última administración del palacio (*a la derecha, en la parte exterior*). En la tablilla representada en la imagen central figura también un registro de gastos: en ella se detalla la distribución de alimentos a las mujeres del palacio.

Hace unos 5000 años el territorio situado entre los ríos Eufrates y Tigris conformaba el país de los sumerios. Tras unas etapas de provisionalidad aparecieron las primeras grafías verbales: la escritura cuneiforme. El escriba solía valerse de un buril afilado con el que hacía presión sobre la superficie todavía tierna de la tablilla de arcilla para dejar marcados los signos. De esta forma surgieron los trazos en forma de cuña que dieron nombre a la escritura cuneiforme, trazos que podían ser horizontales, verticales o inclinados.

Los textos más antiguos escritos en tablillas de arcilla proceden de Uruk (la bíblica Erech), pero hasta ahora hemos de contentarnos con una comprensión muy fragmentaria. A tenor de todos los indicios se trata de anotaciones económicas y contables. Estos primeros escritos eran palabras que designaban objetos y seres vivos, profesiones, títulos y números. La anotación de números cardinales con los intervalos 1, 10, 60, 600, 3600, 36.000 indican que en la época sumeria de Mesopotamia meridional se seguía un sistema de numeración sexagesimal.

Alrededor del 2600 a.C. la escritura combina ya palabras con sílabas. Así podía reproducirse el lenguaje de una forma relativamente unívoca. Junto a textos económicos y listas de palabras se incluyen certificados legales, contratos de compra, escritos de consagración y textos literarios. Probablemente las introducciones formales a los textos literarios tales como "aquel día, fue realmente aquel día; aquella noche, fue realmente aquella noche; aquel año, fue realmente aquel año" tengan su origen en las expresiones de la tradición oral que pasaban a quedar plasmadas por escrito.

La epopeya más conocida escrita en escritura cuneiforme contiene varias narraciones sumerias que en parte se remontan al año 2000 a.C. y en parte fueron agregadas siglos más tarde. Conciernen al legendario rey Gilgamesch, que probablemente reinara en la primera mitad del tercer milenio antes de Cristo en Uruk. A él se atribuye la construcción de las murallas de la ciudad con una longitud de nueve kilómetros.

En el tercer milenio Mesopotamia era bilingüe: en el sur predominaba el sumerio, mientras que el norte hablaba lenguas semíticas, por ejemplo, akkadio. Esto se refleja también en la escritura: para escribir el idioma akkadio se utilizaban signos sumerios. Además, los signos numerales conocidos en el sur se aplicaron en el norte a un sistema decimal. Esto resulta evidente en unos fragmentos encontrados en Beydar en los que el número cien del sistema decimal semítico se escribía como 60 más 40, de acuerdo con el sistema sexagesimal sumerio.

Hasta comienzos del segundo milenio antes de Cristo en la Mesopotamia meridional se hablaba sumerio. Más tarde este idioma siguió vivo en la literatura, el culto y las fórmulas jurídicas hasta la segunda mitad del primer milenio. La escritura cuneiforme fue utilizada también por elamitas, los hititas, los hurritas, los urarteos y otros pueblos asiáticos. Finalmente sirvió de modelo para la escritura alfabética de los ugarititas y antiguos persas. La idea del alfabeto —es decir, la escritura mediante letras que se combinaban libremente— fue asumida por los griegos en el primer milenio antes de Cristo y es una de las características de nuestra cultura occidental. *Ex oriente lux*, de Oriente vino la luz.

trucción superior, de mediados del tercer milenio antes de Cristo, da fe del esplendor de Nabada. El gran palacio, que la investigación conoce ya bastante bien, se elevaba a modo de castillo en el centro de la acrópolis. Estaba veinte metros por encima de la ciudad. Ocuparía, en su conjunto, una extensión de 50 por 60 metros, con una capacidad para 40 o 50 habitaciones. Sus muros de ladrillos de barro cocido al sol alcanzaban los cuatro metros de altura; en ellos se aprecian todavía los portales en óptimo estado de conservación. Estos portales, a menudo abovedados, nos llevan a un rosario de estancias de paredes enjalbegadas, parcialmente excavadas. La construcción funcional del complejo refleja la complejidad de la vida que allí se desarrollaba. Desde un amplio patio interior, en el centro de la acrópolis, se tenía fácil acceso a las distintas áreas del palacio. En las paredes figuran lazos adornados con rosetas de arcilla. Una serie de escaleras conducen en la

parte occidental a una planta superior del palacio, donde se encontraban el salón del trono y la sala de celebraciones. Junto a ellas había estancias menores con sistemas de desagüe que llegaban hasta una profundidad de 20 metros; probablemente se tratara de espacios destinados al culto donde se practicaban lavados rituales. Desde el amplio patio se pasaba a otro pequeño, situado en el sureste. De aquí, por unas escaleras, se subía a una planta superior, probablemente el área residencial del soberano. Todo el palacio estaba rodeado por una serie de almacenes, sin que hasta ahora conozcamos los bienes que en ellos se guardaban.

En el sur de la acrópolis, estaban los espacios del culto. En el Medio Oriente, las prácticas religiosas formaban parte de las actividades diarias del soberano. El espacio interior del santuario estaba adornado con nichos murales y altares de recamada decoración. Siguiendo una antigua costumbre siria, las tumbas de los soberanos se abrían bajo el suelo del santuario (se acaba de descubrir una disposición similar en el palacio de Tuttul). Desde los lugares de culto hasta unos 20 metros colina adentro corrían unos tubos de arcilla, canal presumible para aportar comida y bebida con que atender a las necesidades del espíritu del muerto que se encontraba en los infiernos.

Una auténtica sensación nos produjo el hallazgo de tablillas donde se recogía en escritura cuneiforme un registro minucioso de la contabilidad del palacio. Desde 1993 recuperamos más de 150 tablillas de éstas. Gran parte se encontraba en el suelo de una vivienda próxima, para un ulterior aprovechamiento quizás. Estos testimonios escritos, datados en torno al 2400 a.C., suponen un hallazgo fundamental para desentrañar la cultura del norte de Mesopotamia, apenas investigada.

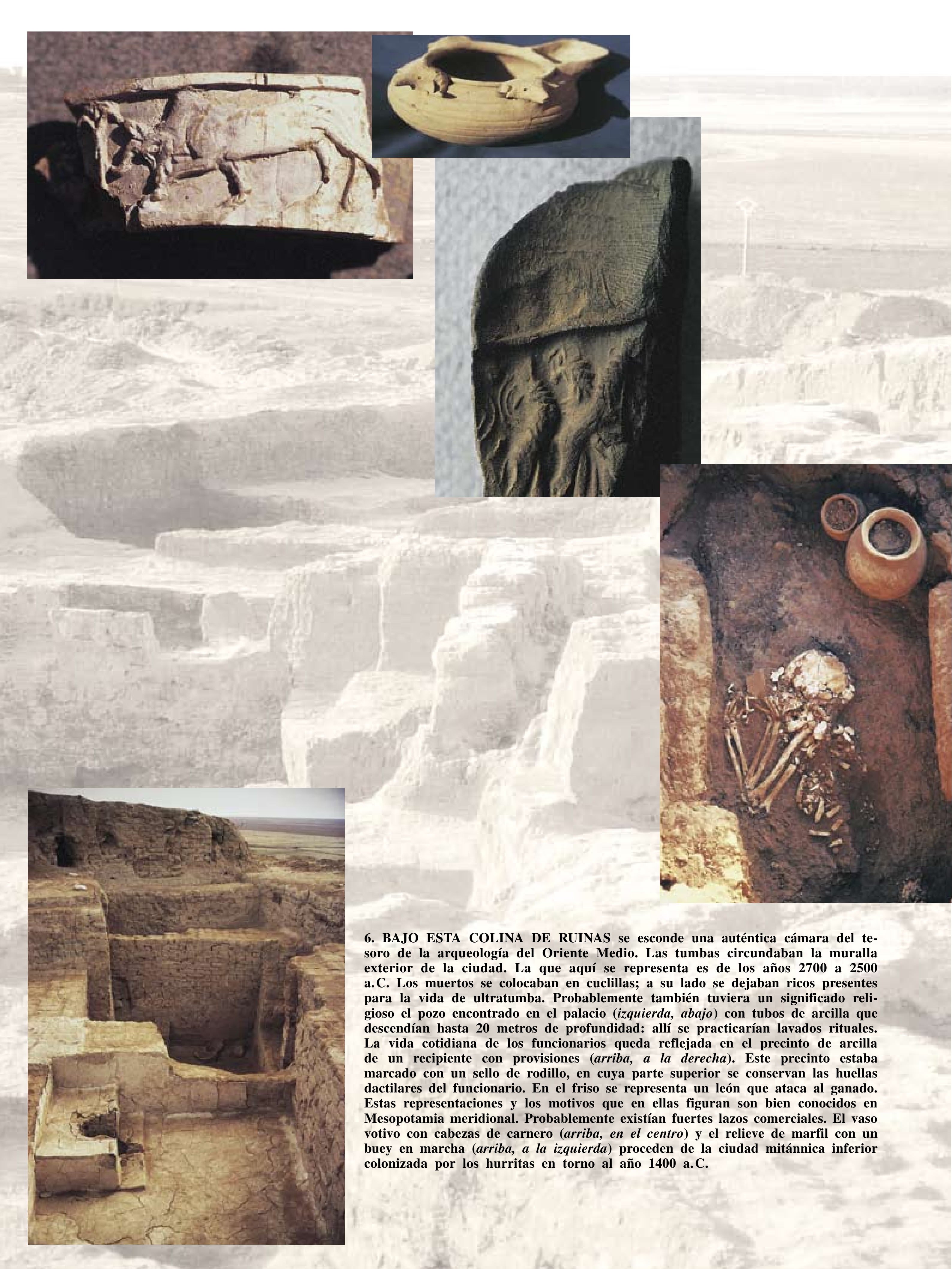
Las tablillas cuneiformes del Próximo Oriente son los documentos escritos más antiguos que se han conservado. El descubrimiento de la escritura se remonta a los sumerios del delta del Eufrates en torno al año 3000 a.C. Se supone que las tablillas se utilizaron en principio para anotar transacciones comerciales y cuentas de la administración de templos y palacios. Siglos más tarde, se grababan en arcilla cartas, leyes y textos mitológicos y religiosos.

Los escritos de Tell Beydar, más exactamente las tablillas de arcilla, se remontan hasta el 2400 a.C. Se trata de una escritura de origen sumerio, aunque el idioma empleado es semítico antiguo. Según los expertos en filología antigua, los pueblos semíticos viajaban por Mesopotamia hacia finales del cuarto milenio antes de Cristo, se mezclaron con los sumerios y terminaron por dominar la refinada cultura mesopotámica. Se han encontrado archivos de aquella época en las ciudades reales semíticas de Ebla y Mari, pero Tell Beydar atesora la mayor riqueza de documentos escritos por los semitas desenterrada en la región del Habur.

Se ha descifrado ya buena parte de esa documentación. Los textos de Beydar se refieren a las poblaciones de los contornos, bajo la administración de Nabada. También se ocupan del abastecimiento de los viajeros, indicando las raciones que corresponden a cada persona y a cada animal. Es muy significativa la información sobre el soberano que en torno al año 2350 a.C. ejerció su poder en Nabada. Por diversos motivos, incluidas reuniones asamblearias y festividades religiosas, el monarca visitó las metrópolis vecinas de la



5. LOS FUNCIONARIOS de la corte marcaban con un sello de rodillo los precintos que cerraban los recipientes donde se guardaban las provisiones. Marcaban también las puertas del palacio. La cerradura de la puerta, de un tamaño de pocos centímetros (*imagen inferior*), muestra una escena mitológica bélica, único caso hasta ahora conocido de este tipo de representación en la Mesopotamia septentrional en torno al año 2350 a.C. En la mitad superior se representa al victorioso soberano, escenas de guerra y una cuerda de presos. En la parte inferior figura una escena de culto difícil de interpretar, relacionada tal vez con el final victorioso de una batalla. El cierre de arcilla de 2 a 3 milímetros de tamaño de la figura superior representa una serie ordenada de cabezas de leones y monstruos. Probablemente se trate del sello de un alto funcionario de Nagar.



6. BAJO ESTA COLINA DE RUINAS se esconde una auténtica cámara del tesoro de la arqueología del Oriente Medio. Las tumbas circundaban la muralla exterior de la ciudad. La que aquí se representa es de los años 2700 a 2500 a.C. Los muertos se colocaban en cuclillas; a su lado se dejaban ricos presentes para la vida de ultratumba. Probablemente también tuviera un significado religioso el pozo encontrado en el palacio (*izquierda, abajo*) con tubos de arcilla que descendían hasta 20 metros de profundidad: allí se practicarían lavados rituales. La vida cotidiana de los funcionarios queda reflejada en el precinto de arcilla de un recipiente con provisiones (*arriba, a la derecha*). Este precinto estaba marcado con un sello de rodillo, en cuya parte superior se conservan las huellas dactilares del funcionario. En el friso se representa un león que ataca al ganado. Estas representaciones y los motivos que en ellas figuran son bien conocidos en Mesopotamia meridional. Probablemente existían fuertes lazos comerciales. El vaso votivo con cabezas de carnero (*arriba, en el centro*) y el relieve de marfil con un buey en marcha (*arriba, a la izquierda*) proceden de la ciudad mitánnica inferior colonizada por los hurritas en torno al año 1400 a.C.

"provincia". Leemos en cierto texto los suministros que corresponden, para cuatro días, a las once yuntas con 44 onagros, especie de asno híbrido que vive todavía en el norte de Irán. La atención a los animales de tiro costaba a la ciudad una considerable cantidad de cereal.

El puntillismo de los contables devuelve hoy la vida al antiguo Oriente Medio. Annemarie Dietrich, de la Universidad de Zurich, recrea la siguiente escena: el soberano de Nagar entra en Nabada por una de las puertas de la muralla externa. Tras él, su séquito formado por once yuntas que acarrean el equipaje. Polvorienta y sudorosa la caravana atraviesa la muralla interior y se encamina hacia la acrópolis. El soberano entra en palacio. En cuencos de arcilla hay preparados alimentos para el séquito. El príncipe se llega hasta el soberano. Las gruesas murallas y el suelo blanco proporcionan frescor. No era el primero en acudir: un ministro de la reina de Mari aguardaba ya en el patio de columnas.

La influencia de Nabada, nos dice otro texto cuneiforme desenterrado en el palacio, abarcaba una región extensa. Se habla allí de una tal Paba, la homónima reina de Mari quizás, esposa del rey Iblu-lils. Cabe también que el texto mencionara a la "hija del rey" de Mari. De acuerdo con la investigación reciente de Sallaberger, se deduce de la información contenida en otras tablillas que en la región se criaba una valiosa raza de onagros y que se comerciaba con zonas alejadas centenares de kilómetros, hasta Ebla. Pero no hemos descubierto todavía el auténtico archivo del palacio. ¿Qué tesoros culturales e históricos pueden permanecer escondidos?

Entre las invenciones de los sumerios figura el sello de rodillo. Era éste un rodillo de piedra con adornos en relieve que servía para sellar los precintos de arcilla. En recipientes y puertas de almacenes, así como en los accesos a la sala del trono y a los templos, encontramos estos sellos. Tales estancias permanecían cerradas. ¿Se abrían sólo en ocasiones especiales? Lo ignoramos. Hallazgos de este tipo impresionan por las artísticas representaciones de las grandes solemnidades. En ellas pueden verse con frecuencia vehículos de transporte, de viaje o de lucha. Todo habla en favor de un intenso tráfico por las rutas comerciales de larga distancia, pero también de una intensa actividad bélica o diplomática.

Pese a su formidable defensa, tras cinco siglos de esplendor, Nabada se eclipsó en torno al año 2350 a.C. ¿Cuál fue la causa? Podría pensarse en Sargón de Akkad, nacido en Kisch, que por aquel tiempo conquistó los estados territoriales mesopotámicos y se erigió en el primer soberano de Oriente Medio. Sin embargo, a diferencia de Ebla, otra conquista suya, no vemos en Nabada restos de incendios en el interior de los edificios que hablarían en favor de acciones bélicas.

¿Por qué abandonaron los habitantes de Nabada su ciudad? Algunos cambios arquitectónicos operados en el palacio ayudan a enhebrar una respuesta. Hacia el 2400 a.C. se adhirió al palacio un nuevo santuario; se rehabilitaron o remodelaron por aquel entonces los lugares de culto. ¿Se debieron a una sequía pertinaz o a otros fenómenos naturales los cambios arquitectónicos instados, que se caracterizan por un evidente componente religioso? Las grietas de las paredes del palacio sugieren la posibilidad de un terremoto. Hartmut Kühne, de la Universidad Libre de Berlín, sostiene que el enorme crecimiento demográfico registrado en la segunda mitad del tercer milenio antes de Cristo agotó los recursos naturales de la región y, con ello, puso fin a las culturas urbanas. No se descarta la hipótesis de un impacto meteorítico en Asia Menor.

Hacia el 2350 a.C. la ciudad fue abandonada por sus habitantes. Decenios más tarde volvieron. Aproximadamente en el año 2250 a.C. Nabada sufrió saqueos, decadencia y ruina. En una época en que los reyes akkadios todavía dominaban el norte de Mesopotamia, pueblos indoeuropeos procedentes de las montañas de Anatolia oriental y de Transcaucasia irrumpieron en la zona. Venían, entre ellos, los hurritas. Fundaron nuevas capitales como Urkisch. Las excavaciones están desenterrando la cultura hurrita, apenas conocida. En torno al año 1600 a.C. surgió un gran reino hurrita en la cuenca del Hagur que, pasado el tiempo, se conocería con el nombre de *Mitanni*. En el momento culminante de su poder, alrededor del año 1400 a.C., el reino de Mitanni se extendía desde el mar Mediterráneo hasta los montes Zagros. Los hurritas poblaron las ruinas de Nabada, olvidada desde hacía mucho tiempo, unos mil años después de su decadencia.

La labor arqueológica de campo prosigue en la ciudad mitánnica de Tell Beydar, situada a menor altura, al oeste de las murallas. En una vivienda hemos hallado restos de notable valor cultural: un vaso para sacrificios adornado con cabezas de carnero, relieves de marfil con representación de leones y bueyes. Tal vez en otro tiempo estos adornos habían servido para decorar muebles.

Cayó también el reino de los mitanni. Los asirios conquistaron el país del Habur. Fieros hasta el extremo, deportaron pueblos enteros y aniquilaban al enemigo, sin respetar edad ni sexo. Procedentes de Asur, en el noroeste de Babilonia, a partir del año 1100 a.C., el poder de los asirios se extendió y en poco tiempo llegaron a amenazar incluso a Egipto.

A lo largo de los siglos VIII y VII a.C. los asirios se adentraron por segunda vez en la cuenca del Habur. Poblaron la antigua ciudad mitánnica situada junto a Tell Beydar. Pero no parece que se quedaran allí mucho tiempo. Los babilonios y los medos aunaron sus fuerzas. "Todos los que oyeron de ti (de tu destrucción) aplauden", escribe el profeta veterotestamentario Nehemías cuando Nínive, la última y grandiosa capital del poderoso imperio asirio, fue reducida a escombros y cenizas en el 612 a.C. Al cabo de pocos años estos pueblos habían conquistado y sometido toda Asiria. Como atisbara el profeta, Nínive se transformó en desierto, "guarida de animales salvajes".

Con su decadencia termina también la historia de Nabada, una ciudad en el nordeste de la actual Siria cuyas raíces penetran profundamente en el tercer milenio antes de Cristo.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

ADMINISTRATIVE DOCUMENTS FROM TELL BEYDAR. Farouk Ismali et al. en *Subartu*, vol. II. Brepolis, Turnhout, 1996.

PALAST UND VERWALTUNG. Joachim Bretschneider y Greta Jans en *Ugarit-Forschungen*, vol. 29, págs. 67-93. Ugarit-Verlag, Münster, 1998.

BEYDAR, MITTEILUNGEN ÜBER DIE ERFORSCHUNG EINES URBANEN ZENTRUMS IM NORDEN ALT-SYRIENS. Dirigido por Joachim Bretschneider y Annemarie Dietrich. Publikationen des Fördervereins Tell Beydar e.V., vol. 3. Ugarit-Verlag, Münster, 1999.

Shawn Carlson

Pistola solar

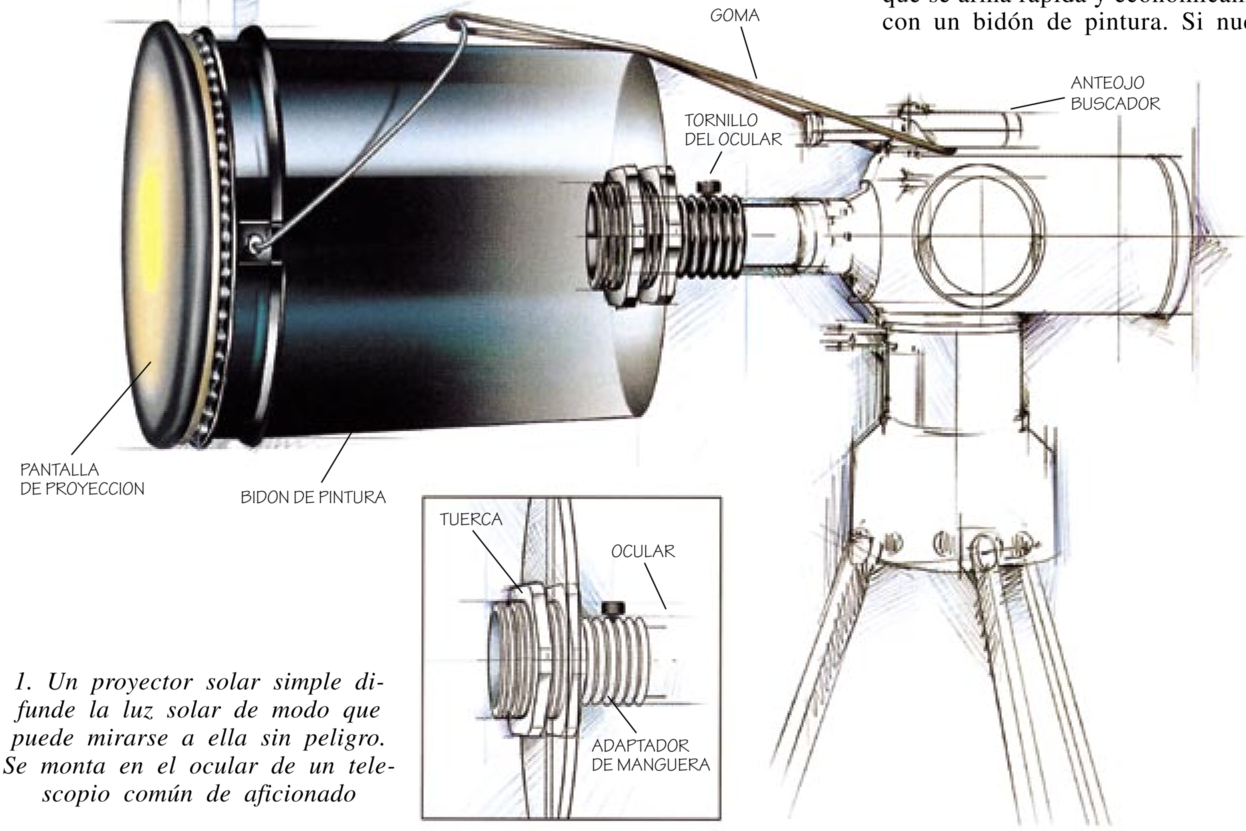
Mi primer telescopio me lo gané, a los nueve años, vendiendo de puerta en puerta 500 cajas de semillas de flores. (Por entonces ya era un buen parlanchín.) No se trataba de un instrumento hecho y derecho, sino de un refractor de diez centímetros que adolecía de lo que los astrónomos llaman aberración cromática. Enfocaba los diferentes colores a distancias levemente distintas, por lo que sólo permitía enfocar un color cada vez. Estrellas y planetas los veía tan borrosos, que a punto estuve de esconderlo en el último rincón del armario. Lo salvó del destierro su filtro solar, que permitía el paso de una pizca del componente verde de la luz procedente del sol. La primera vez que lo usé di un respingo. Limitado a un color, el disco solar aparecía con la nitidez del filo de una navaja y las manchas semejaban vastas islas negras en un inmenso mar esmeralda.

Aquella experiencia inspiró mi primer proyecto de aficionado. A las once en punto de cada mañana de aquel verano, montaba mi telescopio y esmeradamente bosquejaba las manchas solares en un papel cuadriculado. No tardé en descubrir que, a diferencia de la superficie terrestre, la solar rota a velocidades distintas según la latitud. Lamentablemente, tan intensas investigaciones no tardaron en agotar a mi magro instrumento. Desde entonces, mis visitas a nuestro astro rey las he hecho a través de vidrio de soldador del 14 encintado tubularmente sobre binoculares y recientemente vía World Wide Web.

Pero el eclipse total que recorrerá Europa y Asia Occidental el once de agosto me puso al acecho de mejores procedimientos para observar el Sol. Puede el lector imaginarse mi emoción cuando tuve noticia de un elegante proyector solar diseñado por Bruce Hegerberg, de Norcross (Georgia). Es capaz de crear una deslumbrante exhibición de luz diurna. El llamado efecto de oscurecimiento del borde, o sea, la aparente disminución de luminosidad en las proximidades del borde del Sol a causa del mayor trayecto de los rayos ópticos en esa zona, se percibe plenamente. Asimismo, la estructura característica de las manchas solares, con una umbra interna más oscura rodeada de una penumbra más luminosa, se observa con nitidez.

Si tenemos presente que la imagen solar pueden verla numerosas personas a la vez, comprenderemos que el fabuloso instrumento de Hegerberg es perfecto para contemplar un eclipse. Además, al ofrecer tan seductoras imágenes durante el día, en que es más fácil comunicarse con los no astrónomos, nuestro proyector podría revolucionar la astronomía callejera, es decir, la ya consagrada costumbre por la cual los astrónomos aficionados instalan pequeños telescopios para brindar a los transeúntes una ojeada a los cielos.

Hegerberg construyó su primer proyector solar, la “Pistola Solar”, a partir de un telescopio barato, un poco de tubo de CPV y un florero de gran tamaño. Los interesados pueden visitar su página Web. Aquí describiré su modelo de segunda generación, que se arma rápida y económicamente con un bidón de pintura. Si nuestro



1. Un proyector solar simple difunde la luz solar de modo que puede mirarse a ella sin peligro. Se monta en el ocular de un telescopio común de aficionado



2. Esta foto del Sol es real, aunque pueda parecer creada por un ordenador

telescopio dispone de motorización heliostática (que sigue al Sol), podremos seguir el movimiento del astro con las manos libres.

Necesitaremos un bidón de pintura de 20 litros. Deséchese la tapa y píntese de negro el interior del recipiente para que la luz ambiente no atraviese el plástico traslúcido. En el fondo se abrirá un orificio de cinco centímetros mediante una broca hueca cilíndrica montada en un taladro de mano. Por ese orificio se introduce un adaptador macho flexible de manguera que se sujeta en posición con una tuerca de fijación.

Seguidamente, se abre un orificio de unos 3 mm a unos 12 o 13 mm del extremo del adaptador. Céntrese ese orificio con el orificio del tornillo que hay en la montura del ocular y trábense uno a otro con el tornillo que normalmente sujeta al ocular en su posición. Si el adaptador no encaja en nuestra lente, póngase un adaptador universal (por unos 30 dólares en Orion Telescopes; 800-676. 13.43 o www.telescope.com) y sujétese a él nuestro bidón.

La imagen del Sol aparece sobre una pantalla de proyección por transparencia del tipo a menudo empleado en los televisores de pantalla grande. Se venden pantallas de todo tipo, cada una con su propia solución de compromiso entre ángulo de visión, luminosidad de imagen, nitidez y contraste. Hegerberg emplea una pantalla de proyección por transparencia Da-Tex que a unos cien dólares el metro cuadrado le vende Da-Lite Company (800-622.37.37, o www.da-lite.com). Bastará con un cuadrado de unos 40 centímetros de lado. Sujétese la pantalla, con la cara pulida hacia afuera, sobre la boca del bidón. Puede emplearse un fleje de plástico de la medida adecuada justo debajo del reborde del bidón. Ese fleje es del tipo empleado para empacar grandes paquetes de alambre y puede adquirirse a Home Depot (n.º de pieza 728494104805). Ténsese la pantalla a la vez que se estire el fleje, de modo que el conjunto se asemeje a un tambor. Otra posibilidad estriba en fijar la pantalla con una banda de caucho de gran tamaño. El exceso de pantalla se recorta, pero dejando unos quince milímetros de tejido por debajo del fleje para ajustes futuros.

Finalmente, Hegerberg retrae el asa del bidón y pasa por ella una banda elástica larga. Luego, sujeta esa banda al anteojo buscador para aliviar el esfuerzo sobre la montura del sistema de enfoque. Según sean las medidas del bidón y el anteojo, podría ser también necesario añadir un contrapeso al tubo del telescopio.

Para obtener una imagen clara del Sol, se requieren un buen ocular y un filtro atornillado a él. Hegerberg recomienda los oculares Plössl porque proporcionan las imágenes más nítidas y cromáticamente mejor corregidas, pero los oculares Huygens no contienen elementos encolados y por ello sobreviven mejor a exposiciones largas al calor solar. En función del tamaño de nuestro telescopio, las longitudes focales varían entre 17 y 25 mm. Quien posea un telescopio Schmidt-Cassegrain, que pruebe con un ocular de 20 mm para un instrumento de diez centímetros y con un ocular de 25 mm si su instrumento es de 20 centímetros. Orion vende oculares Sirius de Psössl a 50 dólares la pieza. Si la apertura del telescopio supera los 10 cm, debe atenuarse la luz con un trozo de cartón al que se le practicará un orificio de diez centímetros y se sujetará al frente de entrada del instrumento; de otro modo, éste podría recalentarse.

Como filtro, Hegerberg recomienda el número 21 (naranja), el número 11 (amarillo verdoso) y el número 12 (amarillo), todos los cuales los vende Orion a unos 15 dólares. Pero téngase presente que esos filtros no se concibieron para ver directamente la luz solar. Del mismo modo que jamás oprimiríamos un ojo contra el objetivo de un proyector de cine, tampoco nunca miraremos directamente por el ocular, aunque lleve un filtro. Ello podría dañarnos la vista para siempre. La pantalla de proyección de la Pistola Solar difunde la luz de modo que puede contemplarse sin peligro.

Como el anteojo buscador puede enfocar luz solar suficiente para producir quemaduras, cúbrase siempre antes de usar la Pistola Solar. Por supuesto, nunca se mirará directamente al Sol a través del anteojo buscador. Para alinear éste, primero se ajusta su posición de manera que arroje la menor sombra posible. Con el enfoque se afina la imagen en la pantalla.

Equipado con este potente útil, cualquiera estará preparado para explorar nuestro astro en un día despejado. Podrá también divertirse observando el ciclo vital de las manchas solares, registrando la relación entre umbra y penumbra, y representando gráficamente sus tamaños en función del tiempo.

Para más información acerca de este y otros proyectos de esta sección de la revista, visite la página Web de la Society for Amateur Scientists en www.thesphere.com/SAS/ WebX. cgi. Puede también escribirse a la sociedad a 4735 Clairemont Square, PMB 179, San Diego CA 92117, o llamar al 619-239.88.07.

Páginas solares de la Web

La guía para el eclipse del 11 de agosto de la NASA incluye mapas detallados de la trayectoria.
sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/TSE1999/TSE1999.html

La página Web del Observatorio Solar y Heliosférico de la NASA dispone de imágenes solares en tiempo real y películas de la actividad solar reciente.
sohowww.nascom.nasa.gov

La página del Observatorio Solar Nacional muestra al Sol en distintas longitudes de onda.
www.nso.noao.edu/synoptic

El Centro de Análisis de Datos Solares de la NASA posee una colección de imágenes solares de archivo.
umbra.gsfc.nasa.gov/images

El Centro Medioambiental Espacial ofrece imágenes actuales y de archivo.
www.sel.noaa.gov/solar_images/ImageIndex.cgi

La Asociación de Observadores Lunares y Planetarios dirige una página repleta de imágenes solares amateur y profesionales.
www.lpl.arizona.edu/~rhill/alpo/solstuff/rcobs.html

La página de Bruce Hegerberg ofrece más información acerca del contenido del artículo.
www.america.net/~boo/html/sun_gun.html

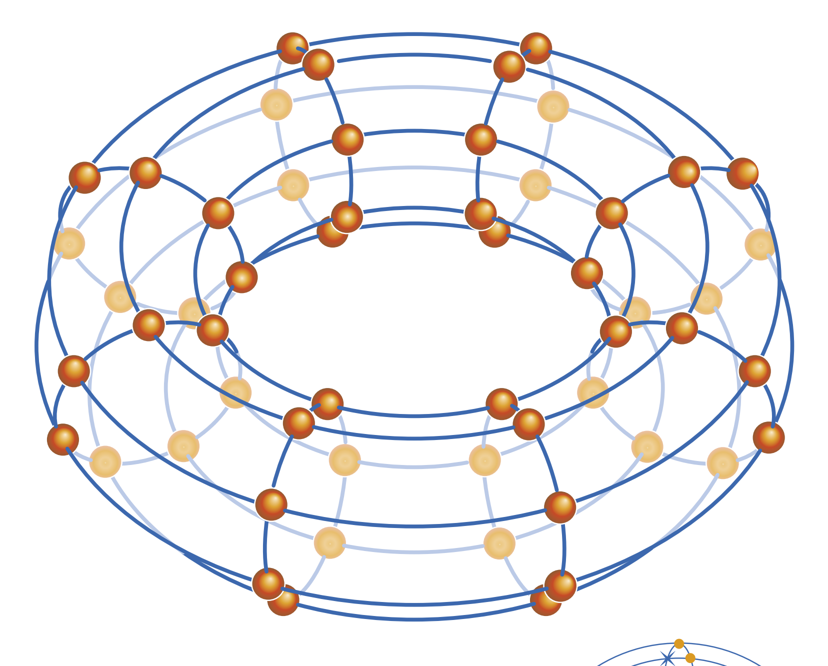
JUEGOS MATEMÁTICOS

Ian Stewart

Cruces de vías en la fábrica de ladrillos

Uno de los encantos de las matemáticas reside en que ciertos problemas, en apariencia muy sencillos, pueden tener perplejos durante siglos a las más sagaces inteligencias. Tal es el caso del último teorema de Fermat, de la conjetura de Kepler o de la conjetura de los cuatro colores, problemas todos ellos que los matemáticos sólo han conseguido resolver en los últimos decenios. Se podría pensar, vistos los progresos recientes, que no quedan ya problemas interesantes en los que el aficionado pueda probar suerte. Pero, como vamos a ver, no es así.

Ante todo, unas palabras acerca de la conjetura de los cuatro colores, enunciada hará unos 150 años. La conjetura afirma que solamente hacen falta cuatro tintas para colorear un mapa bidimensional plano, de modo que no haya dos regiones contiguas que sean del mismo color. La conjetura fue demostrada por Kenneth Appel y Wolfgang Haken en 1976. El teorema de los cuatro colores pertenece a la teoría de grafos. Un grafo es una colección de "nodos", representados por puntos gruesos, conectados por "lados", representados mediante líneas. Cualquier mapa bidimensional puede ser representado mediante un grafo: basta marcar un nodo para cada región, y trazar lados entre los nodos indicativos de regiones fronterizas. Por consiguiente, el problema de los cuatro colores puede plantearse en forma de cuestión sobre coloreado de los nodos del grafo correspondiente.



1. El grafo retículo-tórico consta de ocho círculos verticales y siete círculos horizontales. En el toro no se producen cruces (a)*, pero la proyección de este grafo sobre el plano origina 40 puntos de cruce* (b)

La teoría de grafos es fuente caudalosa de problemas sencillos de enunciar, pero difíciles de resolver. Muchos de ellos conciernen al número de cruzamiento de un grafo, es decir, el número mínimo de veces que los lados se han de atravesar inevitablemente unos a otros, dado el número de nodos. (Los lados han de cruzarse en puntos aislados.) En 1970, Paul Erdös y Richard K. Guy escribieron: "Casi todas las cuestiones que se pueden plantear sobre números de cruzamiento están sin resolver." Su comentario de entonces sigue siendo válido hoy. Aunque resulta muy difícil demostrar casi nada acerca de los números de cruzamiento, quienes gustan de las matemáticas recreativas pueden disfrutar mucho experimentando con diferentes grafos, esforzándose en rebajar el número de puntos de cruce. Es concebible que tales experimentos puedan infirmar ciertas conjeturas notables, al proporcionar grafos cuyo número de cruzamiento sea menor que el valor esperado.

Los grafos cuyo número de cruzamiento es cero están explicados por el teorema de Kuratowski, así llamado en honor del matemático polaco Kazimierz Kuratowski. Tales grafos son planares: los lados que conectan sus nodos no se cortan. Fijémonos en el grafo de la figura 2, que presenta 10 lados que conectan 10 nodos. Los lados se cortan entre sí en cuatro puntos, pero en realidad el grafo es planar, porque los nodos y los lados pueden ser convenientemente desplazados y lograr, con ello, que los nodos formen un anillo, eliminando todos los puntos de cruce. Este grafo recibe el nombre de ciclo de 10 nodos, y se denota por el símbolo C_{10}. Los grafos análogos de n nodos se representan por C_n.

Tomemos ahora el segundo grafo, el llamado grafo completo de 5 nodos. Los 10 lados de este grafo conectan cada nodo con todos los demás. Simbolizamos el grafo con K_5; los grafos completos correspondientes a n nodos son denotados K_n. El grafo K_5 no es planar: cualquiera que sea

la forma en que se reorganicen los nodos y los lados, habrá siempre al menos un punto de cruzamiento. Por esta razón, el número de cruzamiento de K_5 es uno.

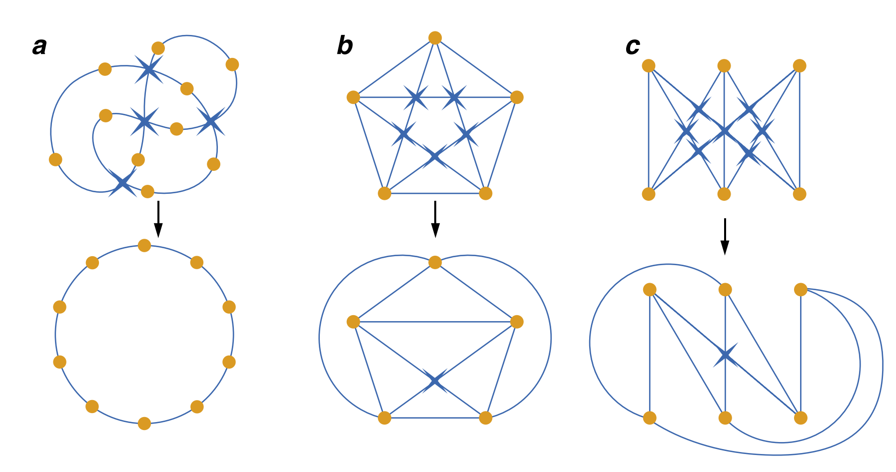
El tercer grafo proporciona un ejemplo de grafo bipartito. Consta de dos conjuntos de tres nodos cada uno, y cada nodo de un conjunto está enlazado con todos los nodos del otro conjunto. El símbolo correspondiente a este grafo es $K_{3,3}$; también su número de cruzamiento es igual a 1. Es posible definir otros grafos bipartitos similares; si uno de los conjuntos cuenta con *m* nodos, y el otro contiene *n* nodos, el grafo se denota $K_{m,n}$.

La noción de número de cruzamiento se originó en 1944, cuando Paul Turán, matemático húngaro, trabajaba en una fábrica de ladrillos. La fábrica tenía cierto número de hornos de cocción de los ladrillos, y cierto número de patios de almacenamiento. Cada horno y cada patio estaban unidos por una vía para vagonetas. Los obreros cargaban los ladrillos en una vagoneta, la empujaban por los carriles hasta uno de los patios, y la descargaban allí. Esta tarea era relativamente sencilla, excepto en los puntos de cruce de los tendidos: las vagonetas, en ellos, solían descarrilar, y los ladrillos, caer al suelo.

Turán se preguntó cómo reorganizar los tendidos de las vías para lograr que el número de cruces fuera mínimo. A los pocos días se dio cuenta de que en la fábrica había cruces innecesarios. Pero el problema general siguió intrigándole. Si hubiera *m* hornos y *n* patios de almacén, el problema podría enunciarse así: hallar el número de cruzamiento para todos los grafos bipartitos completos $K_{m,n}$.

El problema sigue pendiente de solución. Nadine C. Myers ha señalado que sólo se conocen los números de cruzamiento correspondientes a grafos con pequeño número de nodos: para los grafos completos K_n cuando $n \leq 10$, y los grafos bipartitos completos $K_{m,n}$ cuando $3 \leq m \leq 6$. Es muy poco lo que se sabe sobre los grafos con mayores números de nodos.

Tenemos todavía un grafo de otro tipo en la retícula rectangular de un toro (*figura 1*). Aparecen en este grafo dos familias de círculos: ocho círculos verticales con siete nodos cada uno (denotados por el símbolo C_7) y siete círculos horizontales de ocho nodos cada uno (C_8). Estos círculos pueden ser trazados sobre la superficie de un toro (nombre que recibe en matemáticas una rosquilla) sin que se produzcan cruces; los círculos sólo se interceptan en los nodos. Pero cuando este grafo producto $C_7 \times C_8$ es proyectado sobre un plano, se producen cinco puntos de cruce por cada uno de los ocho círculos verticales, con un total de 40 cruzamientos.



2. La teoría de grafos estudia, entre otras cosas, la determinación del número mínimo de puntos de cruce correspondientes a distintos tipos de grafos. Reorganizando un grafo planar (a)*, se puede lograr que carezca de cruces. Un grafo completo con cinco nodos* (b) *tiene número de cruzamiento igual a 1, lo mismo que un grafo bipartito completo con dos conjuntos de tres nodos* (c)

Se puede efectuar una proyección del mismo tipo con *m* círculos horizontales y *n* círculos verticales, con el convenio de que $m \leq n$. Observamos que cada círculo vertical intercepta una vez a los círculos horizontales más interno y más externo, en un nodo. Cada círculo vertical intercepta dos veces a los otros $m-2$ círculos horizontales: una vez en un nodo, lo que representa una intersección genuina sobre el toro, y otra más entre nodos, resultante de la proyección del grafo sobre el plano. Así pues, cada círculo vertical aporta $m-2$ cruces, y el grafo tiene un número total de $(m-2)n$ puntos de cruce.

Está muy difundida la opinión de que este número representa el número mínimo de cruzamientos posibles para un reticulado tórico de tal tipo; con otras palabras, que el número de cruzamiento del producto $C_m \times C_n$ es $(m-2)n$. Pero esta conjetura nunca se ha demostrado para (m, n). Se sabe que es verdadera cuando $3 \leq m \leq 6$ y cuando $m = n = 7$. El mínimo caso sin demostrar es $C_7 \times C_8$; en este caso, el número de cruzamiento conjeturado es 40. ¿Podrán los lectores encontrar alguna forma de dibujar el grafo con 39 o menos cruzamientos? De ser así, se habría demostrado que la conjetura (m, n) es falsa.

En 1997, Gelasio Salazar demostró que, de ser el número de cruzamiento de $C_m \times C_n$ menor que $(m-2)n$, no podría ser mucho más pequeño. Sin embargo, el teorema de Salazar deja abierta la posibilidad de que el número de cruzamiento sea menor que el valor conjeturado. La conjetura (m, n) podría muy bien resultar falsa, lo que explicaría por qué está resultando tan difícil de demostrar. O bien la conjetura podría ser como el teorema de Fermat, la conjetura de Kepler, o la conjetura de los cuatro colores: verdadera, pero difícil de demostrar.

Acuse de recibo

En "La conjetura del fuelle" [septiembre de 1998] explicaba la razón de que fuera imposible crear un fuelle poliédrico, esto es, un poliedro que varíe de volumen al flexionarse. Un elemento clave en ese teorema es que las caras del poliedro han de permanecer perfectamente planas, y que las aristas no deben separarse. La cartulina, sin embargo, no es completamente rígida, por lo que sí es posible construir así un modelo de fuelle poliédrico que cambie de volumen merced a la deformación de sus caras o una ligera separación de sus aristas. *—I.S.*



James Burke

Una habitación con (pocas) vistas

Alguna vez he mencionado que mi casa da al Támesis; desde aquí veo el puente ferroviario construido por el gran ingeniero victoriano Isambard Kingdom Brunel. Así como él era medio francés, lo anterior sólo es verdad en parte, porque una casa vecina me oculta la mitad del puente.

El lector habitual de esta sección recordará que Brunel fue el arquitecto encargado de la construcción del *Great Eastern*. El que fue el mayor barco de vapor de su tiempo completó con éxito el intento de Cyrus Field de tender el cable transatlántico en 1866. Curiosamente, mucho antes de que se pensara en destinar a tal efecto al *Great Eastern*, a un lado del Támesis se afanaban en su construcción, mientras que en la otra ribera se fabricaba el cable.



Field había aprendido la lección de Sam Morse, quien ya realizara algo similar dos años antes, si bien a menor escala. Sorprendió al congreso de los Estados Unidos con una célebre demostración en 1844, en que transmitió señales a través del puerto de Nueva York gracias a un cable de cobre convenientemente aislado. Debió de dar algún consejo y tal vez incluso echara un cable a un vecino que pretendía hundir un barco junto a la isla de Manhattan. Quiso vender a la Marina de los EE.UU. la explosiva idea de recurrir a la detonación de una mina colocada bajo el barco. La quiso. El barco se hundió, como era de esperar, pero con él la fortuna de Sam Colt, que se negó a explicar a la Marina cómo lo había logrado. A su revólver no le iba mejor, hasta que estalló la guerra entre México y EE.UU. y Colt volvió a estar de moda. En 1855 tenía la mayor armería privada del mundo.

Su único rival en la muerte súbita era la Compañía Remington, que solucionó una de las mayores preocupaciones de las tropas norteñas en la guerra civil estadounidense. Mientras los soldados extraían la pólvora del barril, colocaban el proyectil, prendían la mecha y disparaban, no era raro que ya hubieran recibido un tiro. La escopeta con retrocarga de Remington lo cambió todo y se transformó en el rifle militar de mayor éxito de la historia. En las naciones pacifistas de Europa y de Oriente Medio se vendieron más de un millón de unidades.

Al terminar la Guerra Civil, durante algún tiempo y gracias a Remington, la pluma se volvió más ligera que la espada. Las máquinas dejaron de estar ociosas para producir el nuevo aparato de un inventor de Milwaukee. Para su desarrollo se había inspirado en la lectura de la edición de julio de 1867 de *Scientific American*, que ofrecía una descripción de un intento similar de origen británico. El invento de Christopher Sholes se conocería como la máquina de escribir Remington y sirvió para que las mujeres, liberadas de la cocina, quedaran esclavizadas en la oficina.

Quien ayudó a Sholes en su mayúsculo invento fue un abogado, un tipo innovador de nombre Carlos Glidden. En 1874 un pariente muy lejano de Glidden que vivía en De Kalb, llamado Joseph, inventó algo que se haría casi tan popular entre soldados y granjeros como el rifle Remington: el alambre de espino. Tres años más tarde, Glidden vendió su parte de Barbed Fence Co. a Washburn Manufacturing, de Worcester, que venía produciendo los materiales para Glidden. Desde 1868 Washburn aplicaba un nuevo método de fabricación de alambre desarrollado por George Bedson. Este procedimiento permitía la transformación de veinte toneladas de hierro batido en alambre de unos sesenta milímetros en diez horas. Un poco antes, Bedson también había inventado un proceso continuo de baño de zinc y galvanizado del alambre. Quedaba así protegido de la agresión del ambiente. Ezra Cornell lo aprovecharía para tender las líneas del telégrafo a lo largo y ancho de EE.UU., con lo que amasó lo suficiente para fundar una universidad en Ithaca.

Volvamos a Wasburn & Co. Hacia 1842 rechazó la oferta de un joven ingeniero alemán que había dado con una idea para hilar cuerda de alambre, haciendo girar alambre sobre sí mismo. Había dado con la idea mientras trabajaba en un curioso sistema conocido como la vía férrea de porteo. Antes de que el tren los reemplazara, cuando los canales tropezaban con una montaña se veían obligados los ingenieros (como este joven alemán) a cargar las barcazas sobre una plancha y tirar de ellas sobre raíles para pasarlas al otro lado de la montaña. El tiro se realizaba con maromas de cáñamo, que a menudo se rompían. De ahí las cuerdas de alambre del alemán.

Washburn & Co. rechazó el invento. Pensarían que el número de conexiones entre canales por pasos

montañosos no lo justificaba. Se arrepintieron en más de una ocasión. En marzo de 1855 el primer tren que cruzó el Niágara lo hizo sobre un puente suspendido sobre esas mismas cuerdas, transportando al Príncipe de Gales y un montón de publicidad. Y cómo debieron sentirse cuando en 1883 se declaró día festivo en toda Nueva York en el llamado día de la Gente y se inauguró otro puente, de nuevo suspendido de las cuerdas de alambre de A. Roebling, que unió Manhattan y Brooklyn y se entronizó entre las maravillas del mundo.

Años antes, en Berlín, un amigo de Roebling le había aconsejado que emigrara a América. Se trataba de G.W.F. Hegel. Según Hegel, todas las cosas encierran contradicciones en sí mismas. La tensión entre estas contradicciones es la fuerza que impulsa el cambio, que aparece cuando se resuelven las contradicciones. Fácil, ¿no?

En 1844 estas reflexiones cambiaron el curso de la historia cuando un periodista de veinticuatro años publicó una versión en "Escritos económicos y filosóficos", uno de esos trabajos que no pueden recuperarse. Versaba sobre la tensión planteada por Hegel en términos de lucha de clases y de su resolución en términos de la victoria del proletariado. El único lugar seguro para semejante locura a mediados del siglo XIX era Gran Bretaña, por lo que Karl Marx, el autor, la adaptó a Londres.

Si alguna vez el lector ha tenido algún problema con el materialismo dialéctico, es a Hegel a quien tiene que dirigir sus reclamaciones.

En 1884, la hija de Marx, Eleanor, formaba parte de la ejecutiva de la Federación Socialdemócrata. Cuando los anarquistas se hicieron fuertes en la Federación ese mismo año, Eleanor huyó con otros nueve miembros del comité, entre los que se encontraba un diseñador de muebles rústicos y motivos para empapelar paredes. William Morris, que así se llamaba, fundaría más tarde su propia Liga Socialista, la más democrática. En las veladas culturales de la Liga que se celebraban en su casa, Morris leía poemas, George Bernard Shaw tocaba el piano y se cantaba *Chants for Socialists* bajo la dirección de Gustav von Holst, un trombonista inglés.

Holst perdería el "von" durante la Primera Guerra Mundial, cuando se encargó de la música de las tropas de Salónica y Constantinopla. Después de la guerra, volvió a la fama y a la fortuna con la presentación de la obra que le hizo famoso: la suite sinfónica *Los planetas*. Gusto de tocar esta pieza mientras disfruto de mi media vista sobre el puente de Brunel, limitada, eso sí, por la casa contigua que mencionaba al principio y en la que, por cierto, habitó Gustav Holst.

Catástrofes naturales

Fundamentos

PERILS OF A RESTLESS PLANET. SCIENTIFIC PERSPECTIVES ON NATURAL DISASTERS, por E. Zebrowski, Jr. Cambridge University Press; Cambridge, 1997.

El carácter impredictible y espectacular de los desastres naturales (terremotos, volcanes, huracanes, inundaciones, epidemias) supone, además de enormes retos prácticos, un considerable campo para la reflexión acerca de nuestra relación con la naturaleza, nuestro lugar en el mundo, nuestra capacidad de acción, los límites de nuestro poder y de nuestro conocimiento. La reflexión sobre tales desastres constituye el polo opuesto del análisis de los problemas ambientales originados por la acción del hombre (agujero de ozono, efecto invernadero, cambio climático, deforestación). En esta segunda perspectiva, nuestro poder parece enorme pero insensato; la Tierra se nos ofrece vulnerable y frágil. En el análisis de los desastres naturales se invierten los papeles: la Tierra deviene una fuerza poderosa, ciega e indomable.

Las catástrofes naturales tienen profundos efectos culturales: pesan en la memoria colectiva y en la manera de imaginar el fin de la existencia de las civilizaciones, e influyen en la sensación de vulnerabilidad de las culturas. Por ejemplo, el terrible terremoto de Lisboa de 1755 dio pie no sólo a innumerables discusiones filosóficas sobre la Providencia divina sino también sobre la legitimidad del optimismo cientifista a que los éxitos de la teoría newtoniana habían conducido.

Consecuente con esta vertiente cultural, el autor inicia su obra con dos capítulos de carácter general. En el primero, relaciona nuestra capacidad de supervivencia como especie con la brevedad de nuestra vida en comparación con el intervalo entre grandes catástrofes en un mismo lugar. El segundo repasa algunos hitos fundamentales en la evolución de la ciencia, analiza los conceptos de causa y efecto y lamenta la fragmentación actual de la ciencia en numerosas especialidades poco interconectadas.

La parte central del libro consta de seis capítulos dedicados a aspectos concretos de los desastres naturales. Cada uno de ellos recoge la experiencia de diversos desastres y expone las ideas básicas para optimizar su análisis y comprensión. Se ocupa, por ejemplo, la responsabilidad del diseño erróneo de estructuras (embalses, edificios) en los desastres y contiene una introducción sobre rudimentos de resistencia de materiales. Al abordar las epidemias, expone la teoría de la evolución y la dinámica de poblaciones.

Analiza el estatuto científico de los fenómenos irreproducibles e incontrolables (las catástrofes) y presenta algunas ideas del caos determinista. La obra concluye con apéndices con listas de los principales desastres naturales y de sus respectivos efectos. Esta obra constituye una estimulante invitación a la pluridisciplinaridad sobre un tema que, por su incidencia práctica y por sus retos teóricos, debería ser más conocido por los científicos.

DAVID JOU

De Asclepio

a Galeno

ASCLEPIUS. COLLECTION AND INTERPRETATION OF THE TESTIMONIES. Edición preparada por Emma J. Edelstein y Ludwig Edelstein. Introducción de Gary B. Ferngren. The Johns Hopkins University Press; Baltimore, 1998. **LES MALADIES DANS L'ART ANTIQUE**, por Mirko Grmek y Danielle Gourevitch. Fayard; París, 1998.

ARISTOTELISCHE BIOLOGIE: INTENTIONEN, METHODEN, ERGEBNISSE. Edición preparada por Wolfgang Kullmann y Sabine Föllinger. Franz Steiner Verlag Stuttgart; Wiesbaden, 1997. **ARISTOTELES' *DE ANIMA*. EINE VERLORENE SPÄTANTIKE PARAPHRASE IN ARABISCHER & PERSISCHER ÜBERLIEFERUNG**. Edición preparada por Rüdiger Arnzen. Brill; Leiden, 1997.

THEOPHRASTUS. REAPPRAISING THE SOURCES. Dirigido por Johannes M. van Ophuijsen y Marlein van Raalte. Transactions Publishers; New Brunswick-Londres, 1998. **DIOSCÓRIDES. PLANTAS Y REMEDIOS MEDICINALES**. Introducción, traducción y notas de Manuela García Valdés. Editorial Gredos; Madrid, 1998.

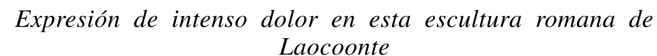
SEXTUS EMPIRICUS. AGAINST THE GRAMMARIANS. Traducción, introducción y comentarios de David L. Blank. Clarendon Press; Oxford, 1998. **GALEN. ON ANTECEDENT CAUSES**, por R. J. Hankinson. Cambridge University Press; Cambridge, 1998.

De Asclepio a Galeno transcurre el período en que se tejen las ideas básicas de la teoría de la vida en la antigüedad clásica. Por lo que respecta a la medicina, nodo del pensamiento biológico, hay un antes y un después de los escritos de Ludwig Edelstein y, muy en particular, el ahora reeditado *Asclepius*, que preparó con su esposa, Emma J. Levy.

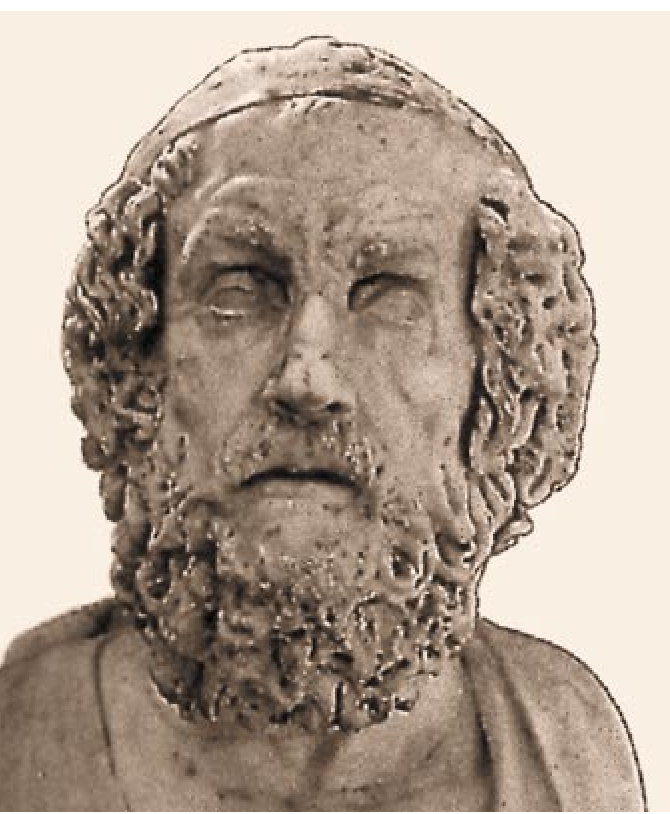
Edelstein estudió clásicas en Berlín con Werner Jaeger y filosofía y sociología con Eduard Spranger. Terminado el doctorado en 1929, con una disertación dedicada al tratado hipocrático *Sobre los aires, las aguas y los lugares*, comenzó a enseñar historia de la medicina y de la ciencia hasta la subida al poder de Hitler. Igual que había hecho con otro joven prometedor, Owsei Temkin, Henry Sigerist se lo llevó al recién creado Instituto de Historia de la Medicina de la Universidad Johns Hopkins de Baltimore. Entre 1934 y 1947 Edesltein trabajó allí y fue figura decisiva para convertir el instituto en el modelo a seguir. Murió en 1965.

La vieja escuela alemana de historia de la medicina que había iniciado, entre otras obras magnas, la edición rigurosa de textos clásicos se sintió escandalizada con los escritos provocadores del joven Edelstein. Atacaba desde la preparación del médico griego hasta la autoría de los tratados hipocráticos,





Expresión de intenso dolor en esta escultura romana de Laocoonte



Dicunt Homerum caecum fuisse *—dicen que Homero era ciego. (Museo arqueológico de Nápoles)*

pasando por el origen y función del sacrosanto juramento. Su disertación *Peri aerön und die Sammlung der hippokratischen Schriften*, publicada en 1931, arruinaba la idea del médico griego aupado a la categoría de arquetipo de la profesión. Insistía, por contra, en el contexto histórico y filosófico; en su opinión, el médico de la antigüedad clásica era un empírico itinerante, que aprendía su oficio con la experiencia. Sólo el acierto en la prognosis le aseguraba el éxito ante sus competidores. Sin formación reglada, cualquiera podía practicar.

Escéptico ante la realidad histórica de Hipócrates, puso en duda su intervención en cualquier tratado del *corpus hippocraticum*. ¿Qué decir del juramento? Cuando Edelstein se ocupó del tema, en 1943, se consideraban sus mandatos el acta fundacional de la deontología clásica; pero él se esforzó por mostrar que se trataba de una elaboración tardía y esotérica, preparada en un círculo restringido de médicos seguidores de la escuela pitagórica.

En 1945 apareció *Asclepius*, en dos volúmenes. El primero recogía las fuentes, un total de 861 testimonios literarios y epigráficos en griego o latín, con su versión en inglés; el volumen segundo interpretaba los textos y esquematizaba la doctrina subyacente. De entrada se negaba la tesis aceptada, a saber, que Asclepio entrara en el mundo griego desde el Olimpo. Antes bien, había sido un hombre de carne y hueso, un médico de Tricca, en Tesalia; este empírico, ennoblecido por Homero en la *Ilíada*, alcanzó estatuto de héroe legendario y, dando un paso más, el de protector divino de los médicos. Así en el siglo VI a.C. fue elevado a la categoría de dios en Epidauro y su culto se extendió por el mundo mediterráneo. Ahondando más, rechazaba que la medicina se hubiera originado en los templos del nuevo dios, por mucho que sus seguidores se llamaran asclepíadas.

Pero los Edesltein se limitaron a los textos literarios y epigráficos, forzando su sentido en más de una ocasión. No se sirvieron de las pruebas arqueológicas que ofrecen los templos, estatuas o monedas, que hubieran consolidado sus tesis. Limitación que se supera si acudimos a *Les maladies dans l'art antique*, obra conjunta de un historiador de la medicina y un filólogo. Se apoyan en fuentes iconográficas de tipo diverso y origen plural, fechadas desde el siglo VI a.C. hasta el siglo IV d.C.

Para una apreciación estética de las alteraciones patológicas hubo que abandonar los estereotipos del arte arcaico, renunciar a una visión estática, frontal, e interesarse por el cuerpo normal, en reposo o en movimiento. La figuración de la respiración, de los vasos sanguíneos y de la mirada expresiva no entraron en el arte hasta el 480-450 a.C.; muy pronto, la representación artística del dolor y de los estados paroxísticos, con sus gestos retorcidos y posturas forzadas, trasciende la naturaleza. Conmueve la cabeza patética de un Laocoonte atacado por los monstruos marinos. Tiene la testa inclinada hacia su lado doliente, la vista alterada por las arrugas de la expresión y, levantado, su labio superior deja los dientes al descubierto.

Puesto que permiten comparar y completar textos con imágenes, los retratos de personajes célebres constituyen una fuente riquísima de información médico-histórica. Recordemos los bustos de Homero en el Louvre, en Munich, en el Museo del Capitolio de Roma. Cualquiera que sea la historia de este personaje a caballo entre el mito y la realidad, el retrato siempre es de un ciego; su mirada, vacía, está resaltada por la ausencia de iris y de pupila. En el Museo arqueológico de

Nápoles hay un busto que, si bien de notable simetría, presenta un ojo más abierto y como desviado, alteración ésta que ayuda a dar una impresión de privación de la vista. O traigamos a colación el ejemplo de Demóstenes. Según testimonios escritos, pronunciaba con dificultad e incorrección ciertos sonidos, se quedaba sin aliento y levantaba los hombros al hablar; eso nos remite a un vicio orgánico en la conformación de la boca y una respiración "clavicular". Así parecen corroborarlo, en el busto que se conserva en el Museo Nacional de Roma, el retraimiento mandibular y la oclusión fallida.

Las monedas reflejan la efigie, casi siempre idealizada, de la autoridad. Pero la convención se rompe en el cuello hinchado de una pléyade de reyes helenísticos (Antíoco VII de Siria, Éumenes II de Pérgamo y Nicomedes II de Bitinia). Ante la abundancia de casos y su extensión geográfica, se ha esgrimido la prueba numismática para postular la existencia de una endemia de bocio en la cuenca oriental mediterránea durante siglos. En el anverso de un sestercio romano, Maximino

ESPECIE	PRAXIS	COMPORTAMIENTO	ATRIBUTO
LOBO	Predación, búsqueda de alimento	Ataca al hombre y remueve las tumbas	Ingenio
ELEFANTE	Sin determinar	Tiene capacidad de aprender y entender	Comprensión
CIERVO	Cuidado de las crías	Si es mordido por una serpiente venenosa come animales antiofídicos	Inteligencia práctica
OSO	Hibernación	Lo primero que hace tras despertar del letargo es comer aro	Inteligencia práctica
GOLONDRINA	Su propio modo de vida	Imita la conducta humana, construye nidos	Juicio
ARAÑA	Su propio modo de vida	Sin especificar	Habilidad técnica
PEZ TORPEDO	Depredación	Espera atento para lanzarse contra la presa	Habilidad técnica

Ejemplos de conocimiento en los animales según Aristóteles

el Tracio presenta un maxilar inferior desmesurado, anomalía que se encuentra también en otro busto del emperador, por lo que cabe legítimamente inferir que nos hallamos ante un ejemplo de hipersecreción de la hormona del crecimiento, deducción avalada por los relatos que subrayan el gigantismo de este personaje de talla superior a los dos metros.

Las heridas, la rabia y los envenenamientos son motivos habituales. El combate contra una serpiente de agua de aliento pestilente, la hidra de Lerna, forma parte de los doce trabajos de Hércules. Algunos ven en esa lucha singular el símbolo de la costosa desecación de la zona pantanosa de Lerna. Podría reflejar también una realidad médica, una fase de exacerbación de fiebres intermitentes. Hidra significa serpiente de agua; el que la de Lerna se convirtiera en monstruo mítico particularmente nefasto puede traslucir una endemia local de paludismo.



Escita extrayendo el diente partido de un compañero. Vaso de Kul-Oba

Si los conceptos últimos de la medicina hipocrática encontraron sentido y articulación sistemática en la teoría biológica de Aristóteles, en glosa y paráfrasis de éste devino la ciencia posterior. Tales son las conclusiones inmediatas que se extraen de la lectura de *Aristoteles'* De Anima. *Eine verlorene spätantike Paraphrase in arabischer & persischer Überlieferung* y *Aristotelische Biologie: Intentionen, Methoden, Ergebnisse*.

A los diecisiete años Aristóteles, nacido en Estagira en el 384 a.C., llamó a la puerta de la Academia de Platón. Con el tiempo, fundó su propia escuela en Atenas. Desde Parménides se venía debatiendo sobre lo uno y lo múltiple. Los presocráticos reflexionaban en torno a su entidad física; la Academia, en torno a su sentido lingüístico y lógico. En los diálogos, Platón caracterizaba las Formas como unidades en sí mismas y objetos de aprehensión directa; mientras que la pluralidad era un defecto del mundo fenoménico.

¿Qué relación guardaba eso con la biología? Para Aristóteles, entre lo uno y lo múltiple se debate la vida y su expresión plural. Dedica hasta seis tratados importantes a la cuestión: *Acerca del alma, Historias de los animales*, *Acerca de las partes de los animales, Acerca de la locomoción de los animales, Acerca del movimiento de los animales* y *Acerca de la generación de los animales*.

El tratado *Acerca del alma* se ocupa, en tres libros, de lo viviente en general, del fenómeno de la vida. Compendia la biología teórica aristotélica. Filósofos y científicos del período helenístico tardío, con Juan Filopón al frente, se entregarán a su exposición. Lo investiga Arnzen en su labrado *Aristoteles' De Anima*, basado en el manuscrito *Escorialensis* 649, una paráfrasis árabe anónima del texto aristotélico traducida al persa. Ese género literario resumía el texto de la autoridad y, para nosotros, evidenciaba las coordenadas intelectuales en que se movía el expositor. Por ejemplo, su conocimiento de los *Analíticos* de Aristóteles: "Describe el alma y la define. Dice que es una substancia, no un accidente. Explica y expone cómo debe entenderse."

Arnzen, coautor de un aplaudido *Greek and Arabic Lexicon*, abre su trabajo con la evolución de testimonios y fuentes griegas, las conjeturas sobre fecha e identidad del autor. El lector se encuentra luego con la "recensio y examinatio", vale decir, el análisis de los manuscritos árabes, interpolaciones, colación entre tradiciones y reconstrucción de su dependencia. Todo lo cual se ordena a ofrecer una edición crítica con su traducción a una lengua moderna, que el autor pormenoriza en los comentarios filológicos subsiguientes.

En los organismos, el alma es la forma. (Según el hilemorfismo aristotélico, los seres constan de materia y forma.) En virtud del alma, o de la forma, el organismo está capacitado para realizar las funciones vitales específicas, desde la nutrición (propia del alma vegetal) hasta el conocimiento (propio del alma racional), pasando por la sensación (distintiva de los animales). En esa triple versión del alma yace la razón última de la diversidad biológica.

Allan Gotthelf mostraba en 1987, y ahora desarrolla en *Aristotelische Biologie*, que las explicaciones aportadas en el cuerpo del tratado *Acerca de las partes de los animales* tenían una estructura axiomática implícita, donde también se enunciaba la fundamentación causal de la clasificación, u ordenación de la diversidad.

Distingue allí la causa final de la causa eficiente, y sostiene que, de las dos, la causa final es anterior por cuanto encierra el *logos*, entendido en el sentido de resultado final de un proceso de generación. La causa eficiente constituye el medio para adquirir dicho fin. Y en la razón teleológica se esconde uno de los puntos más espinosos de la filosofía natural. Da la impresión de que Aristóteles aboga por una teleología universal, según la cual todos los cuerpos se hallarían definidos, determinados por el fin al que tienden. Más cierto es, sin embargo, que la determinación les viene también por la materia de que están hechos.

Los cuerpos de la región sublunar constan de cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego); los del mundo supralunar, de un quinto elemento, el éter, sometido a sus propias leyes de movimiento circular en torno al centro del universo. En línea recta se mueven los cuatro elementos sublunares; la tierra y el agua hacia el centro

del cosmos, el aire y fuego hacia la esfera de la Luna. Estos materiales elementales no constan de materia y forma. Son pura materia. Dejados a su suerte, los cuatro elementos se estratificarían en capas permanentes, ocupado el centro por una bola de tierra, rodeada por agua, que estaría circundada por aire y, finalmente, el fuego.

Pero los elementos no pueden reposar en sus lugares propios. Por culpa de los movimientos de los cuerpos celestes y por el doble movimiento del Sol, existe una notable actividad, que desplaza a los elementos de su lugar natural. A menudo interaccionan entre sí y se combinan en compuestos simples uniformes (metales, minerales y líquidos). El comportamiento de esos materiales se explica por procesos mecánicos de calentamiento y enfriamiento.

La situación cambia de plano en biología. Aquí, los elementos son ahora la materia de partes uniformes; las partes uniformes, materia de partes no uniformes; y las partes no uniformes, materia del organismo en conjunto. La producción de partes uniformes y no uniformes está dirigida por el fin a cuya realización contribuyen.

Discípulo de Aristóteles y sucesor suyo en la dirección de la Escuela Peripatética fue Teofrasto. Aparte de su obra botánica, una colección de retazos caracterológicos y varios opúsculos científicos, sus obras sobreviven sólo a través de citas o alusiones en trabajos ajenos. Estas fuentes secundarias, compiladas, se han publicado recientemente y permiten ya una interpretación más fundada de su pensamiento. *Theophrastus* es una primera aproximación, donde en 17 investigaciones se revisan sus ideas sobre lógica, física, biología, ética, política, retórica y música, amén de iluminar los pasos primeros de la institucionalización del Peripatos.

De sus tratados biológicos el más influyente, y todavía auténtica caja de sorpresas, es la *Historia de las plantas*. Según Diógenes Laercio la conformaban diez libros. En las ediciones modernas son nueve. Parece que hacia el año 200 a.C. la obra reunía ya en un solo cuerpo (*pragmateia*) las distintas partes componentes, cuyo último libro era el que tomamos por nono. Fijémenos, empero, en el segundo, modélico en su carácter unitario, a saber, la reproducción de los vegetales, especialmente de los árboles. Las especies domésticas merecen mayor atención que las silvestres. Plantación (o siembra) y fructificación constituyen el punto de partida y de culminación, respectivamente, del ciclo vegetativo.

Divide en cuatro los grandes grupos vegetales, en razón de la talla y radicación: árbol, arbusto, subarbusto y hierba. Afirma que "todas las plantas sin excepción son más hermosas y prosperan mejor en el medio que les es propio", que "cada una busca la situación y el clima de su conveniencia". En los vegetales, insiste en el libro cuarto, influyen el clima, medio y agresiones diversas (enfermedades, parásitos, accidentes meteorológicos o provocados por el hombre). Por los naturalistas de la expedición de Alejandro, conoce el incienso, la mirra, la canela, el bálsamo, el cinamomo y otras plantas aromáticas de Arabia, Siria y la India. Y detalla la exudación resinosa del pino con la familiaridad de quien ha realizado la labor colectora en Ida de Tróade.



Acteón atacado por sus propios perros al confundirlo con un ciervo

La botánica teórica de Teofrasto se torna aplicación médica en Dioscórides Anazarbeo, contemporáneo de Plinio el Viejo y, como él, inspirado en Sextio Niger y Cratevas, autor este último de un herbario ilustrado. Médico militar del ejército romano en tiempos de Claudio y Nerón, escribió *Perì hýles iatrikês*. Por fin en España, y gracias a Gredos y a Manuela García Valdés, podemos manejar una edición digna de *Plantas y remedios medicinales*, que así vierte el título griego.

(Pero una edición que se propone crítica no puede llamar a los asclepíadas de un modo en la página 18 y tres más adelante de otro, ni variar las fechas de nacimiento y muerte de Cratevas—p. 16 y p. 36—, ni caer en los errores de la exposición renacentista, ni entrecomillar en la introducción un texto del cuerpo de la obra, que luego en su lugar aparece traducido de forma distinta. Dice en la página 23: "No se hace particular mención de los órganos reproductores, como se hace en estudios botánicos modernos." Uno no sabe si admirar más la ignorancia de la autora o la candidez con que la manifiesta. Bien están los filtros filológicos. ¿Por qué Gredos no aquilata mejor las acotaciones de los textos científicos?)

Dioscórides ordena su exposición atendiendo a los remedios. Describe 600 plantas, 35 productos animales y 90 minerales. Instaura un modelo que recuperarán los humanistas: denominación y sinonimia de la planta, origen y descripción de los diferentes órganos, virtudes terapéuticas. No abundan los retratos completos, ni sigue un criterio firme de jerarquía sistemática, aunque existe cierto orden en la sucesión. Además de fijarse en los caracteres distintivos permanentes, recomienda seguir el curso de la planta a lo largo de las estaciones.

Contra la enfermedad los médicos debían emplear otros antídotos, proporcionales a la dolencia. El mayor grado de infección era de orden intelectual. Esa es la batalla que libra un médico, Sexto Empírico, con mejor predicamento entre los filósofos. *Against the Grammarians* ("Contra los gramáticos") es el primer libro de *Adversus Mathematicos*, donde critica

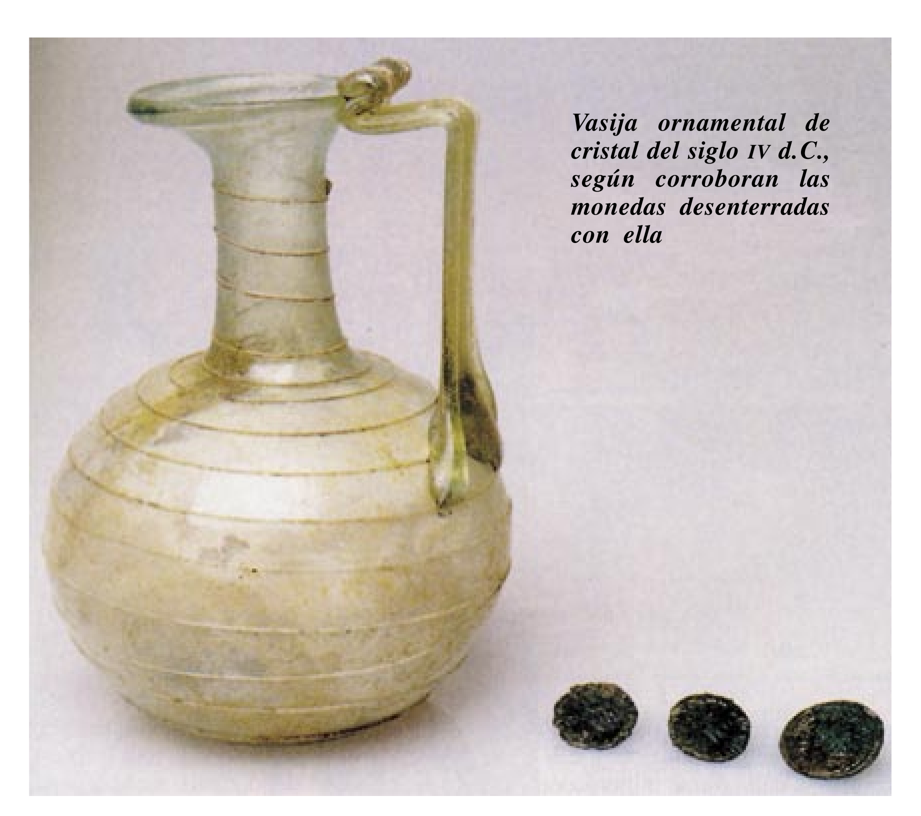
los estudios liberales (*mathemata*). Una óptima fuente, además, para la ciencia de la gramática del siglo II a.C. Sexto Empírico vivió entre el año 100 d.C. y principios del siglo III. Algunos autores lo ven contemporáneo de Galeno.

Gramáticos eran los docentes de lengua y literatura. Estos y los estoicos se jactaban de poseer una preparación especial para hablar correctamente o comprender debidamente los textos épicos. Epicúreos y escépticos replicaban —a través de Empírico— que el conocimiento del propio idioma no requería especial aprendizaje y, para entender un texto, basta con la filosofía.

En *Bosquejos pirrónicos* Empírico distinguía tres grupos de pensadores: los dogmáticos, quienes como resultado de sus investigaciones filosóficas creían haber descubierto la verdad; los académicos, aquellos cuyas investigaciones les habían llevado a negar tal descubrimiento y su posibilidad; y los escépticos, aquellos que, por no haber descubierto la verdad, proseguían sus investigaciones. Los escépticos, grupo en que Sexto se encuadra, se llaman también "investigadores" (*setetikoi*) y están movidos por la esperanza de alcanzar la serenidad (*ataraxia*). Se caracterizan los escépticos por su capacidad para establecer oposiciones entre cosas antagónicas que, en su opinión, poseen igual fuerza (*isostheneia*) y, por tanto, suspenden el juicio.

En el alegato de Empírico se han distinguido dos voces, la epicúrea, interesada en atacar disciplinas inútiles, y la pirrónica, cuyo postulado central era la negación de que existiera la propia disciplina debatida.

Así razonaban los escépticos: Lo que se enseña es verdadero o falso. Lo falso no existe, no hay por tanto enseñanza de lo que no existe; en consecuencia, no se enseña nada. Lo que se enseña es evidente u obscuro. Si evidente para todos, no necesita enseñarse; si obscuro, está sometido al desacuerdo indecidible y, por tanto, no es enseñable, puesto que lo que uno no puede aprehender no puede enseñarse ni conocerse; en consecuencia, no se enseña nada. Lo que se enseña puede ser corpóreo o incorpóreo; pero cualquiera de ellos está sometido a la división superior en evidente y obscuro; en consecuencia, no se enseña nada. Y así se engarzan contrarios tras contrarios para terminar siempre en aporías, para salvarse de las cuales otros filósofos esgrimían con razón apelar a la realidad evidente de las cosas.



Vasija ornamental de cristal del siglo IV d.C., según corroboran las monedas desenterradas con ella

Ecléctico y antagonista de los escépticos fue otro médico filósofo preocupado por el rigor en su profesión. Empezando por la finura mental. Ese es el propósito acariciado por Galeno en *De causis procatarcticis* cuya edición comentada nos ofrece R. J. Hankinson bajo el título inglés de *On Antecedent Causes*, en línea con la secularización de la medicina, alentada desde el hipocrático *Sobre la enfermedad sagrada*.

Galeno había nacido en Pérgamo, en el año 129 d.C. Vivió más de setenta. Estudió filosofía y medicina. Veló sus primeras armas en la escuela de gladiadores, curando heridas o accidentes. Pero desarrolló la mayor parte de su actividad en Roma, en el mismo palacio imperial.

Nos revela este opúsculo de filosofía médica un pensador equilibrado, sagaz a la hora de extraer de una tradición larga y plural los elementos que necesita para enhebrar su propia argumentación. Por Aristóteles sabe que la investigación científica procede a través del conocimiento concatenado de las causas. Estas, a su vez, designan la conjunción regular entre tipos de condición o sucesos. Y esas conjunciones son susceptibles de un enunciado general. De las causas se ocupaba también el foro, en particular de la responsabilidad causal y moral. Pero en el mundo de las leyes penales, podemos considerar razonablemente culpables de un mismo delito factores muy diversos. En círculos médicos de influencia estoica contraponían las causas contemporáneas con los efectos y las causas que los precedían.

El razonamiento de Galeno iba dirigido contra Erasístrato y Herófilo, dos exponentes de la medicina alejandrina. Para Galeno, el calor y el frío eran los factores patogénicos principales, inevitables causas antecedentes. Erasístrato, por contra, considera al calor y al frío meras alteraciones de las condiciones superficiales de los animales, sin influencia en su estado interno. Ni el calor ni el frío, razona, puede causar la enfermedad, pues ésta ni se sigue inmediatamente de aquéllos, ni persisten durante el tiempo de la enfermedad. Para que algo sea en sentido genuino causa de un efecto, tienen que estar vinculados, ser una *aitía synertiká*.

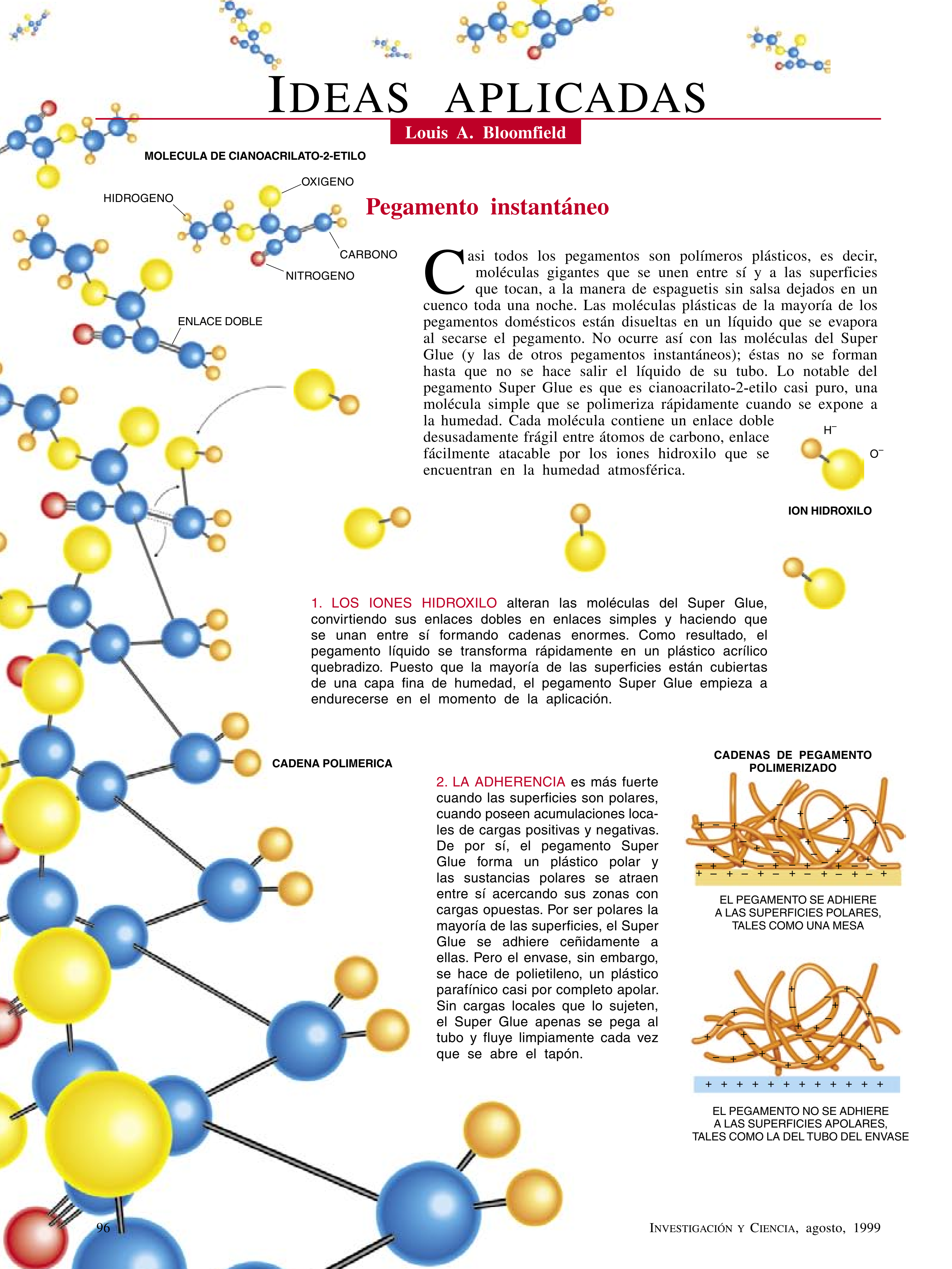
Galeno replica. Los factores externos, antecedentes, que operan en el cuerpo de un paciente son importantes desde el punto de vista causal para la condición subsiguiente del paciente. El calor sufrido en el estadio causa la fiebre que aparecerá después. Porque "in omnibus artibus nullus provenit effectus sine causis suis, quarum aliquae per se sunt, aliae per accidens, aliae sine quibus non" (en todas las artes —medicina aquí— no existe efecto que carezca de causas propias, unas son sustantivas, otras accidentales y otras imprescindibles o condicionantes").

LUIS ALONSO

IDEAS APLICADAS

Louis A. Bloomfield

Pegamento instantáneo



Casi todos los pegamentos son polímeros plásticos, es decir, moléculas gigantes que se unen entre sí y a las superficies que tocan, a la manera de espaguetis sin salsa dejados en un cuenco toda una noche. Las moléculas plásticas de la mayoría de los pegamentos domésticos están disueltas en un líquido que se evapora al secarse el pegamento. No ocurre así con las moléculas del Super Glue (y las de otros pegamentos instantáneos); éstas no se forman hasta que no se hace salir el líquido de su tubo. Lo notable del pegamento Super Glue es que es cianoacrilato-2-etilo casi puro, una molécula simple que se polimeriza rápidamente cuando se expone a la humedad. Cada molécula contiene un enlace doble desusadamente frágil entre átomos de carbono, enlace fácilmente atacable por los iones hidroxilo que se encuentran en la humedad atmosférica.

1. LOS IONES HIDROXILO alteran las moléculas del Super Glue, convirtiendo sus enlaces dobles en enlaces simples y haciendo que se unan entre sí formando cadenas enormes. Como resultado, el pegamento líquido se transforma rápidamente en un plástico acrílico quebradizo. Puesto que la mayoría de las superficies están cubiertas de una capa fina de humedad, el pegamento Super Glue empieza a endurecerse en el momento de la aplicación.

2. LA ADHERENCIA es más fuerte cuando las superficies son polares, cuando poseen acumulaciones locales de cargas positivas y negativas. De por sí, el pegamento Super Glue forma un plástico polar y las sustancias polares se atraen entre sí acercando sus zonas con cargas opuestas. Por ser polares la mayoría de las superficies, el Super Glue se adhiere ceñidamente a ellas. Pero el envase, sin embargo, se hace de polietileno, un plástico parafínico casi por completo apolar. Sin cargas locales que lo sujeten, el Super Glue apenas se pega al tubo y fluye limpiamente cada vez que se abre el tapón.

Seguiremos explorando los campos del conocimiento



MATERIAS PRIMAS DE LA VIDA, por Max P. Bernstein, Scott A. Sandford y Louis J. Allamandola

Puede que la vida deba sus inicios a moléculas orgánicas complejas, elaboradas en los corazones helados de las nubes interestelares.

VACUNAS GENETICAS, por David B. Weiner y Ronald C. Kennedy

Las vacunas fabricadas con productos genéticos puede que consigan prevenir el sida, el paludismo y otras terribles infecciones insensibles a las técnicas de inmunización actuales. Quizá contribuyan incluso a tratar el cáncer.

EL MISTERIOSO ESPIN DE LOS NUCLEONES, por Klaus Rith y Andreas Schäfer

Una nueva tanda de experimentos contribuirá a que se conozca mejor la enigmática estructura interna de los protones y los neutrones.

JARDINES BOTANICOS Y PARQUES ZOOLOGICOS DE TIEMPOS REMOTOS, por Karen Polinger Foster

Hace más de cuatro mil años, los gobernantes de Egipto y de Mesopotamia, que levantaron pirámides e imperios, se dedicaron por primera vez a un pasatiempo diferente: la colección de animales exóticos y el cultivo de jardines ornamentales.

FORMACION DE ESTRELLAS EN GALAXIAS ESPIRALES, por Jordi Cepa Nogué

Las galaxias constituyen los laboratorios astrofísicos donde someter a prueba la influencia de las condiciones del medio interestelar en la generación de estrellas.

INFORME ESPECIAL:

FUTURO DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

Por muchos que sean los obstáculos para una producción práctica de pilas de combustible, la continua investigación y los aciertos de la ingeniería pudieran llegar a hacerlas populares.

MOTORES ELECTROQUIMICOS, por A. John Appleby

UNA FABRICA DE ENERGIA EN EL SOTANO, por Alan C. Lloyd

LAS BATERIAS DE LOS APARATOS PORTATILES, por Christopher K. Dyer

